

2026

Efeitos da aplicação de microrganismo eficiente sobre crescimento, produção e qualidade de frutos de *Solanum Lycopersicum* L.

Silva, Leandro de Oliveira

Universidade Estadual do Norte do Paraná

SILVA, Leandro de Oliveira. Efeitos da aplicação de microrganismo eficiente sobre crescimento, produção e qualidade de frutos de *Solanum Lycopersicum* L. Orientador: Petrônio Pinheiro Porto. 2026. 44 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Campus Luiz Meneghel, Universidade Estadual do Norte do Paraná, Bandeirantes, 2026.

<https://repositorio.uenp.edu.br/handle/123456789/857>

Baixado de Repositório Institucional UENP



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE
DO PARANÁ**

Campus Luiz Meneghel

**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
MESTRADO EM AGRONOMIA**

LEANDRO DE OLIVEIRA SILVA

**EFEITOS DA APLICAÇÃO DE MICRORGANISMO
EFICIENTE SOBRE CRESCIMENTO, PRODUÇÃO E
QUALIDADE DE FRUTOS DE *SOLANUM LYCOPERSICUM L.***

BANDEIRANTES – PR
2026

LEANDRO DE OLIVEIRA SILVA

**EFEITOS DA APLICAÇÃO DE MICRORGANISMO
EFICIENTE SOBRE CRESCIMENTO, PRODUÇÃO E
QUALIDADE DE FRUTOS DE *SOLANUM LYCOPERSICUM L.***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia - PPAGRO da Universidade Estadual do Norte do Paraná – *Campus* Luiz Meneghel, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Petronio Pinheiro Porto
Co-orientador: Prof. Dr. Oriel Tiago Kölln

Ficha catalográfica elaborada na Biblioteca do Campus "Luiz Meneghel", vinculada ao Sistema de Bibliotecas Universitárias da Universidade Estadual do Norte do Paraná (SBU-UENP)

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

S5861e Silva, Leandro de Oliveira.
Efeitos da aplicação de microrganismo eficiente sobre crescimento, produção e qualidade de frutos de *Solanum lycopersicum* L. / Leandro de Oliveira Silva. – 2026.
44 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Petronio Pinheiro Porto.
Coorientador: Prof. Dr. Oriel Tiago Kölln.
Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Norte do Paraná, Campus Luiz Meneghel, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-graduação em Agronomia, 2026.
Inclui bibliografia.

1. Microrganismos eficazes - Dissertação. 2. Fungos micorrízicos arbusculares - Dissertação. 3. Co-inoculação - Dissertação. 4. Agricultura regenerativa - Dissertação. 5. Adubação mineral - Dissertação. 6. Revisão sistemática - Dissertação. I. Porto, Petronio Pinheiro. II. Universidade Estadual do Norte do Paraná. Campus Luiz Meneghel. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-graduação em Agronomia. III. Título.

CDD: 635 (22.ed)

Bibliotecário Elísio Custódio Brentan Junior (CRB-9/1955)

LEANDRO DE OLIVEIRA SILVA

**EFEITOS DA APLICAÇÃO DE MICRORGANISMO
EFICIENTE SOBRE CRESCIMENTO, PRODUÇÃO E
QUALIDADE DE FRUTOS DE *SOLANUM LYCOPERSICUM L.***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia - PPAGRO da Universidade Estadual do Norte do Paraná – *Campus* Luiz Meneghel, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

Após realização de Defesa Pública o trabalho foi considerado:

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Petronio Pinheiro Porto
Universidade Estadual do Norte do Paraná - UENP

Prof(a). Dr(a). Fabiana Gisele da Silva Pinto
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Unoeste

Prof(a). Dr(a). Leopoldo Sussumu Matsumoto
Universidade Estadual do Norte do Paraná - UENP

Bandeirantes, 26 de fevereiro de 2026.

Dedico este trabalho a minha familia.

AGRADECIMENTO

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, por ter me sustentado com saúde, determinação e clareza ao longo desta caminhada. Ao meu orientador, Professor Petrônio, expresso minha profunda gratidão, não apenas pela colaboração neste trabalho, mas também pela amizade e pela confiança.

Epígrafe

*"Como posso pisar no chão todos os dias e não sentir seu poder?
Como posso viver minha vida pisando nessa coisa e não me maravilhar com ela?"*
W. B. Logan, *Dirt: The Ecstatic Skin of the Earth*

SILVA, Leandro de Oliveira. Efeitos da aplicação de microrganismo eficiente sobre crescimento, produção e qualidade de frutos de *solanum lycopersicum L.*: 2025.

(Dissertação - Mestrado em Agronomia) -Universidade Estadual do Norte do Paraná, *Campus* Luiz Meneghel, Bandeirantes, 2025.

RESUMO: A agricultura contemporânea enfrenta desafios crescentes relacionados à sustentabilidade, segurança alimentar e mitigação de impactos ambientais, e nesse cenário o tomateiro (*Solanum lycopersicum L.*), hortaliça de grande relevância econômica e social, constitui modelo ideal para estudos sobre interações planta-microrganismo. O objetivo desta dissertação foi avaliar os efeitos da aplicação de microrganismos eficientes (MEs), especialmente na forma de bokashi líquido/Tecnologia de Microrganismos Tomita (TMT), sobre o crescimento, produção e qualidade dos frutos de tomateiro, considerando também sua interação com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs). O primeiro artigo tratasse da revisão sistemática, conduzida segundo protocolo PRISMA, identificou 2.450 registros e incluiu 31 estudos que evidenciam benefícios da co-inoculação de FMAs e MEs, como maior absorção de fósforo, incremento de biomassa, tolerância a estresses abióticos e supressão de patógenos, além de ganhos em qualidade de frutos. O segundo artigo tratasse do experimento que foi realizado em condições controladas, utilizando delineamento inteiramente casualidade (DIC) experimental com sete tratamentos, além da testemunha, visando avaliar diferentes doses e frequências de aplicação do produto associado à adubação mineral NPK 10-10-10. Os tratamentos T1 (50 L ha⁻¹), T2 (100 L ha⁻¹), T3 (200 L ha⁻¹) e T7 (400 L ha⁻¹) receberam aplicação única, enquanto os tratamentos T4 (50 L ha⁻¹), T5 (100 L ha⁻¹) e T6 (200 L ha⁻¹) foram submetidos a duas aplicações na mesma dose. A testemunha não recebeu aplicação do produto. As variáveis avaliadas incluíram parâmetros de crescimento vegetativo (altura, número de folhas, área foliar), acúmulo de biomassa fresca e seca, produtividade (número e peso de frutos) e qualidade (sólidos solúveis, firmeza e coloração). Os resultados demonstraram que a aplicação fracionada do TMT promoveu aumento significativo na altura das plantas (até 22% em relação à testemunha), na área foliar (incremento médio de 18%), no acúmulo de biomassa seca (crescimento de 25%) e na produtividade (elevação de 20% no número e peso dos frutos). Em contrapartida, a aplicação única concentrou os efeitos no crescimento vegetativo, sem ganhos expressivos na produção reprodutiva. Conclui-se que o uso de microrganismos eficientes, associado à simbiose micorrízica, representa uma estratégia promissora para fortalecer o cultivo de tomateiro em sistemas agrícolas sustentáveis, reduzindo a necessidade de fertilizantes e defensivos sintéticos e conciliando produtividade, qualidade e conservação ambiental em consonância com os princípios da agricultura regenerativa.

PALAVRAS CHAVES: Rizosfera, Fungos micorrízicos arbusculares, bokashi líquido, Agricultura sustentável, Biofertilizantes.

SILVA, Leandro de Oliveira. **Effects of the application of effective microorganisms on growth, yield, and fruit quality of *Solanum lycopersicum* L.:** 2025. (Master's Dissertation in Agronomy) – State University of Northern Paraná, Luiz Meneghel Campus, Bandeirantes, 2025.

ABSTRACT: Contemporary agriculture faces increasing challenges related to sustainability, food security, and mitigation of environmental impacts. In this context, the tomato plant (*Solanum lycopersicum* L.), a vegetable crop of great economic and social relevance, serves as an ideal model for studies on plant-microorganism interactions. The objective of this dissertation was to evaluate the effects of applying effective microorganisms (EMs), particularly in the form of liquid bokashi/Tomita Microorganisms Technology (TMT), on the growth, yield, and fruit quality of tomato plants, also considering their interaction with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF). The first article presents a systematic review, conducted according to the PRISMA protocol, which identified 2,450 records and included 31 studies. These studies demonstrate the benefits of the co-inoculation of AMF and EMs, such as increased phosphorus uptake, enhanced biomass accumulation, tolerance to abiotic stresses, suppression of pathogens, and improvements in fruit quality. The second article describes an experiment conducted under controlled conditions, using a completely randomized design (CRD) with seven treatments, in addition to a control, to evaluate different rates and application frequencies of the product associated with NPK 10-10-10 mineral fertilization. Treatments T1 (50 L ha⁻¹), T2 (100 L ha⁻¹), T3 (200 L ha⁻¹), and T7 (400 L ha⁻¹) received a single application, while treatments T4 (50 L ha⁻¹), T5 (100 L ha⁻¹), and T6 (200 L ha⁻¹) received two applications at the same rate. The control received no application of the product. The evaluated variables included vegetative growth parameters (plant height, leaf number, leaf area), fresh and dry biomass accumulation, yield (fruit number and weight), and quality parameters (soluble solids content, firmness, and color). The results demonstrated that split application of TMT promoted a significant increase in plant height (up to 22% compared to the control), leaf area (average increase of 18%), dry biomass accumulation (25% increase), and yield (20% increase in both fruit number and weight). In contrast, single application concentrated effects on vegetative growth, without significant gains in reproductive output. It is concluded that the use of effective microorganisms, associated with mycorrhizal symbiosis, represents a promising strategy to strengthen tomato cultivation in sustainable agricultural systems, reducing the need for synthetic fertilizers and pesticides while reconciling productivity, quality, and environmental conservation in line with the principles of regenerative agriculture.

KEYWORDS: Rhizosphere, Arbuscular mycorrhizal fungi, Liquid bokashi, Sustainable agriculture, Biofertilizers.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Análise de solo Fonte LaborSolo.....	26
Figura 2, Vasos com palhada e transplantio. Fonte autor.....	26
Figura 3, Planta morta. Fonte autor	27
Figura 4, Mudas. Fonte Autor	27
Figura 5, protótipo para multiplicação dos microrganismos. Fonte autor.	28
Figura 6, Aplicação do TMT. Fonte autor.	28
Figura 7, deficiência de nutrientes. Fonte autor.	29
Figura 8, ataque de mosca branca e pulgão. Fonte autor.	30
Figura 9, medição e pesagem dos frutos. Fonte autor.	31
Figura 10 – Altura (m) média de plantas de tomateiro (<i>Solanum lycopersicum L.</i>) em função dos diferentes tratamentos com TMT.	34
Figura 11 – Área foliar de tomateiro (<i>Solanum lycopersicum L.</i>) em função dos diferentes tratamentos com TMT.	35
Figura 12 – Matéria seca da parte aérea (MSPA) de tomateiro (<i>Solanum lycopersicum L.</i>) em função dos diferentes tratamentos com TMT.	35
Figura 13 – Matéria seca da raiz (MSRA) de tomateiro (<i>Solanum lycopersicum L.</i>) em função dos diferentes tratamentos com TMT.	36
Figura 14 – Quantidade de frutos por planta de tomateiro (<i>Solanum lycopersicum L.</i>) em função dos diferentes tratamentos com TMT.	37
Figura 15– Peso médio de frutos (g) de tomateiro (<i>Solanum lycopersicum L.</i>) em função dos diferentes tratamentos com TMT.	37
Figura 16 – Comprimento médio de frutos (mm) de tomateiro (<i>Solanum lycopersicum L.</i>) em função dos diferentes tratamentos com TMT.	38
Figura 17– Espessura média de frutos (mm) de tomateiro (<i>Solanum lycopersicum L.</i>) em função dos diferentes tratamentos com TMT.	38
Figura 18. Resultados visuais do ataque de nematoide em cada tratamento.	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Médias \pm desvio padrão das variáveis de crescimento, biomassa, produtividade e qualidade de frutos de tomateiro (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	33
---	----

lista de abreviaturas e siglas

CV	Coeficiente de variação
L/ha ⁻¹	Litros por Hectare
Cm ²	Centímetros quadrados
L	Litros
mm	Milímetros
MSRA	Matéria seca da raiz
MSPA	Matéria seca da parte aérea
N	Nitrogênio
P	Fósforo
N/P	relação nitrogênio e fósforo
TMT	Tecnologia de multiplicação do Celso K. Tomita
ATP	Adenosina Trifosfato
AIA	Ácido Indolacético
g	Gramas
m	Metro



Universidade Estadual do Norte do Paraná - UENP

Criada pela Lei Estadual nº 15.300/06 – Autorizada pelo Decreto Estadual nº 3909/08

CAMPUS LUIZ MENEGHEL
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE MESTRADO EM AGRONOMIA
BR 369 KM 54 (43) 3542-8053

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	4
2. REFERÊNCIAS.....	5
3. REVISÃO DE LITERATURA: ARTIGO; SIMBIOSE MICROBIANA E ESTRATÉGIAS BIOLÓGICAS PARA O FORTALECIMENTO DO CULTIVO DE TOMATE.....	6
3.1 RESUMO	6
3.2 INTRODUÇÃO	8
3.3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	9
3.4 RESULTADO E DISCUSSÃO	11
3.4.1. Rizosfera e Fungos micorrízicos.....	11
3.4.2 Microrganismos eficientes	14
3.4.3. Microrganismos eficientes e fungos micorrízicos	16
3.5 CONCLUSÃO	18
3.6 REFERÊNCIAS	19
4. DESENVOLVIMENTO: ARTIGO: Efeitos da aplicação de microrganismo eficiente sobre crescimento, produção e qualidade de frutos de <i>Solanum lycopersicum L.</i>	22
4.1 RESUMO	22
4.2 INTRODUÇÃO	23
4.3 MATERIAL E MÉTODOS	25
Localização e Condições Experimentais.....	25
Preparo do solo e Vasos.....	25
Delineamento Experimental e Tratamentos	26
Material Vegetal e Estabelecimento da Cultura	27
Produção e Aplicação do Inoculante Microbiano	28
Manejo Cultural, Manejo de Podas	29
Adubação e Irrigação	29
Controle Fitossanitário.....	29
4.4 RESULTADOS.....	31
Crescimento Vegetativo	34

Acúmulo de Biomassa	35
Produtividade e Qualidade dos Frutos	36
4.5 DISCUSSÃO.....	39
4.5.1. Mecanismos de Ação e Promoção de Crescimento: A Via Nutricional	39
4.5.2. Desenvolvimento Radicular e Efeitos Fito-Hormonais	39
4.5.3 Frequência versus Dose: Otimizando a Produtividade e Qualidade de Frutos.....	40
4.5.4. Potencial no Manejo Sustentável de Nematoides	40
4.6 CONCLUSÃO	42
4.7 REFERÊNCIAS	43

1. INTRODUÇÃO

A agricultura contemporânea enfrenta desafios crescentes relacionados à sustentabilidade, segurança alimentar e mitigação de impactos ambientais. Nesse cenário, o tomateiro (*Solanum lycopersicum L.*), uma das hortaliças de maior relevância econômica e social no mundo, torna-se modelo ideal para estudos sobre interações planta-microrganismo, devido à sua elevada exigência nutricional e sensibilidade a estresses bióticos e abióticos (Bona et al., 2018; Gashash et al., 2022). A rizosfera, espaço de intensa atividade biológica, desempenha papel central nesse processo, pois os exsudatos radiculares funcionam como sinais químicos capazes de recrutar comunidades microbianas benéficas (Nanjundappa et al., 2019).

Entre os simbioses mais estudados, destacam-se os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) e as rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (PGPR). Os FMAs estabelecem simbiose mutualística com o tomateiro, expandindo a exploração do solo por meio de redes hifais extrarradiculares e aumentando a captação de nutrientes pouco móveis, como o fósforo, além de melhorar a tolerância a estresses hídricos e salinos (Shafiei et al., 2022; Shin et al., 2017). Já as PGPR atuam por múltiplos mecanismos, incluindo fixação biológica de nitrogênio, solubilização de fosfatos, produção de fitohormônios e indução de resistência sistêmica (Sagar et al., 2021).

Nos últimos anos, cresce o interesse por bioinsumos multifuncionais, como os microrganismos eficientes (MEs), aplicados em formulações fermentadas como o bokashi líquido ou a Tecnologia de Microrganismos Tomita (TMT). Esses consórcios microbianos promovem a ciclagem de nutrientes, a supressão de patógenos e a melhoria da estrutura do solo, resultando em maior resiliência das plantas frente a estresses ambientais (Vicente et al., 2020; Rezende, 2007). Estudos recentes indicam que a co-inoculação de FMAs e PGPR presentes nos MEs pode gerar efeitos sinérgicos, aumentando o crescimento do tomateiro, a obtenção de nutrientes e a resistência a pragas (Nanjundappa et al., 2019; Bona et al., 2018).

Além da fundamentação teórica, pesquisas experimentais têm demonstrado o potencial agrônomo desses bioinsumos. A aplicação do biofertilizante TMT em diferentes doses e frequências promoveu ganhos expressivos em altura e área foliar, especialmente nos tratamentos com aplicações fracionadas, que sincronizaram a liberação de nutrientes e estímulos microbianos com as fases fenológicas da planta (Cirillo et al., 2023; Li et al., 2023). Em contraste, aplicações únicas e concentradas favoreceram o crescimento vegetativo em detrimento da produção reprodutiva, evidenciando que o manejo é determinante para a eficácia do bioinsumo (Mondaca et al., 2025).

Esses resultados reforçam que a integração entre FMAs e MEs pode reduzir a dependência de fertilizantes e pesticidas sintéticos, promovendo sistemas agrícolas mais sustentáveis e resilientes (Demir et al., 2024; Hakkoum et al., 2024). A adoção de bioinoculantes como o TMT representa não apenas uma alternativa tecnológica, mas também uma estratégia alinhada aos princípios da agricultura regenerativa, capaz de conciliar produtividade, qualidade dos frutos e conservação ambiental.

Dessa forma, a presente dissertação busca consolidar a base científica sobre a complementaridade funcional entre micorrizas e microrganismos eficientes, ao mesmo tempo em que apresenta evidências experimentais sobre os efeitos do TMT no cultivo de tomateiro. A integração entre revisão sistemática e pesquisa aplicada pretende contribuir para o avanço do conhecimento e para a construção de práticas agrícolas mais sustentáveis e inovadoras.

2. REFERÊNCIAS

BONA, E.; et al. Combined bacterial and mycorrhizal inocula improve tomato quality at reduced fertilization. **Scientia Horticulturae**, v. 234, p. 160-165, 2018.

CIRILLO, V.; et al. Inoculation with a microbial consortium increases soil microbial diversity and improves agronomic traits of tomato under water and nitrogen deficiency. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1304627, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1304627>.

DEMIR, H.; et al. Impact of effective micro-organisms (EM) on the yield, growth and biochemical properties of lettuce when applied to soil and leaves. **BMC Plant Biology**, v. 24, n. 1189, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05980-y>.

GASHASH, E. A.; et al. Efeitos de rizobactérias promotoras de crescimento vegetal (PGPR) e cianobactérias nas características botânicas de plantas de tomateiro (*Solanum lycopersicon* L.). **Plants**, v. 11, n. 20, p. 2732, 2022.

HAKKOU, Z.; et al. Impact of a soil cyanobacteria consortium-based bioinoculant on tomato growth, yield, and fruit quality. **Plants**, v. 14, n. 13, p. 2034, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants14132034>.

LI, L.; et al. Enhancing plant growth in biofertilizer-amended soil through nitrogen-transforming microbial communities. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1259853, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1259853>.

MONDACA, P.; et al. Comparative effects of compost, bokashi, and *Trichoderma* on soil and tomato quality in a Mediterranean area. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 25, n. 1, p. 351-362, 2025.

NANJUNDAPPA, A.; et al. Interaction between arbuscular mycorrhizal fungi and *Bacillus* spp. in soil enhancing growth of crop plants. **Fungal Biology and Biotechnology**, v. 6, n. 1, 2019.

REZENDE, F. V. **Aprenda como se faz: biofertilizante**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2007. (Comunicado Técnico, 53).

SAGAR, A.; et al. Plant growth promoting rhizobacteria, arbuscular mycorrhizal fungi and their synergistic interactions to counteract the negative effects of saline soil on agriculture: key macromolecules and mechanisms. **Microorganisms**, v. 9, n. 7, 2021.

SHAFIEI, F.; SHAHIDI-NOGHABI, S.; SEDAGHATI, E. The impact of arbuscular mycorrhizal fungi on tomato plant resistance against *Tuta absoluta* (Meyrick) in greenhouse conditions. **Journal of Asia-Pacific Entomology**, v. 25, n. 3, 2022.

SHIN, K.; et al. Variability of effective micro-organisms (EM) in bokashi and soil and effects on soil-borne plant pathogens. **Crop Protection**, v. 99, p. 168-176, 2017.

VICENTE, N. F. P.; et al. Uma revisão bibliográfica sobre bokashi dos últimos 20 anos. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, e833910935, 2020. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8339>.

3. REVISÃO DE LITERATURA: ARTIGO; SIMBIOSE MICROBIANA E ESTRATÉGIAS BIOLÓGICAS PARA O FORTALECIMENTO DO CULTIVO DE TOMATE

3.1 RESUMO

Objetivo: Avaliar, por meio de revisão sistemática, as interações entre tomate (*Solanum lycopersicum*), fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) e microrganismos eficientes (MEs, incluindo bokashi líquido/TMT) para verificar se a aplicação conjunta desses simbioses potencializa nutrição, crescimento e resistência da cultura em modelos de produção sustentáveis.

Referencial Teórico: Baseia-se em conceitos sobre rizosfera e exsudatos radiculares, simbiose micorrízica (Glomeromycota), mecanismos de solubilização de nutrientes, produção de fitohormônios e indução de resistência sistêmica, além da literatura sobre formulações de MEs e práticas com bokashi /TMT.

Método: Revisão sistemática conduzida segundo PRISMA com buscas em bases internacionais (PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, Google Acadêmico, SciELO), triagem por título/resumo e leitura de textos completos, extração padronizada de dados e síntese qualitativa; fluxo PRISMA: 2.450 registros identificados e 31 estudos incluídos na análise qualitativa.

Resultados e Discussão: Evidenciou-se que exsudatos radiculares recrutam PGPR e FMAs; FMAs ampliam exploração do solo e a captação de fósforo e água; MEs aceleram a ciclagem de nutrientes, produzem metabólitos bioativos e favorecem a solubilização de nutrientes; co-inoculações (p.ex. FMAs + *Bacillus*) mostraram efeitos sinérgicos sobre biomassa, aquisição de nutrientes e tolerância a estresses; bokashi líquido/TMT tende a aumentar diversidade microbiana e favorecer colonização micorrízica, embora requeira padronização e validação empírica.

Implicações da Pesquisa: A integração de FMAs e MEs pode reduzir o uso de fertilizantes e pesticidas, promovendo sistemas de tomate mais resilientes e sustentáveis e orientando práticas de manejo rizosférico.

Originalidade/Valor: Consolida evidências recentes sobre a complementaridade funcional entre micorrizas e MEs aplicados como bokashi líquido/TMT e identifica lacunas para padronização e pesquisas aplicadas.

Palavras-Chaves: Rizosfera, fungos micorrízicos arbusculares, microrganismos eficientes, agricultura sustentável.

MICROBIAL SYMBIOSIS AND BIOLOGICAL STRATEGIES FOR STRENGTHENING TOMATO CULTIVATION

ABSTRACT

Objective: To evaluate, through a PRISMA-based systematic review, the interactions between tomato (*Solanum lycopersicum*), arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and effective microorganisms (EMs, including liquid bokashi /TMT) to determine whether combined application of these symbionts enhances nutrition, growth and resilience of tomato crops under sustainable production models.

Theoretical Framework: Grounded in concepts of the rhizosphere and root exudates, AMF symbiosis (Glomeromycota), nutrient solubilization mechanisms, phytohormone production and systemic resistance induction, and the literature on EM formulations and bokashi /TMT practices.

Method: Systematic review following PRISMA with searches in international databases (PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, Google Scholar, SciELO), screening by title/abstract and full-text reading, standardized data extraction and qualitative synthesis; PRISMA flow: 2,450 records identified and 31 studies included in the qualitative analysis.

Results and Discussion: Root exudates recruit PGPR and AMF; AMF extend soil exploration and improve phosphorus and water uptake; EMs accelerate nutrient cycling, produce bioactive metabolites and enhance nutrient solubilization; co-inoculations (e.g., AMF + *Bacillus*) show synergistic increases in biomass, nutrient acquisition and stress tolerance; liquid bokashi /TMT tends to increase soil microbial diversity and favor mycorrhizal colonization but requires standardization and broader empirical validation.

Research Implications: Integrating AMF and EMs may reduce reliance on chemical fertilizers and pesticides and foster more resilient, sustainable tomato production and rhizosphere management practices.

Originality/Value: Provides a systematic, up-to-date synthesis of evidence on the complementary functions of AMF and EMs (bokashi liquid/TMT) and highlights gaps for standardization and applied research.

Keywords: Rhizosphere, arbuscular mycorrhizal fungi, effective microorganisms, sustainable agriculture.

SIMBIOSIS MICROBIANA Y ESTRATEGIAS BIOLÓGICAS PARA EL FORTALECIMIENTO DEL CULTIVO DE TOMATE

RESUMEN

Objetivo: Evaluar, mediante una revisión sistemática basada en PRISMA, las interacciones entre el tomate (*Solanum lycopersicum*), los hongos micorrícicos arbusculares (HMA) y los microorganismos eficientes (MEs, incluido el bokashi líquido/TMT) para determinar si la aplicación combinada de estos simbioses mejora la nutrición, el crecimiento y la resiliencia del cultivo bajo modelos de producción sostenibles.

Referencial Teórico: Se fundamenta en los conceptos de rizosfera y exudados radiculares, la simbiosis HMA (Glomeromycota), mecanismos de solubilización de nutrientes, producción de fitohormonas e inducción de resistencia sistémica, y en la literatura sobre formulaciones de MEs y prácticas con bokashi /TMT.

Método: Revisión sistemática conforme a PRISMA con búsquedas en bases internacionales (PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, Google Scholar, SciELO), cribado por título/resumen y lectura de textos completos, extracción de datos estandarizada y síntesis cualitativa; flujo PRISMA: 2.450 registros identificados y 31 estudios incluidos en el análisis cualitativo.

Resultados y Discusión: Los exudados radiculares reclutan PGPR y HMA; los HMA amplían la exploración del suelo y mejoran la captura de fósforo y agua; los MEs aceleran el ciclo de nutrientes, producen metabolitos bioactivos y favorecen la solubilización de nutrientes; las coinoculaciones (p. ej. HMA + *Bacillus*) mostraron efectos sinérgicos sobre biomasa, adquisición de nutrientes y tolerancia al estrés; el bokashi líquido/TMT tiende a aumentar la diversidad microbiana y favorecer la colonización micorrícica, aunque requiere estandarización y validación empírica más amplia.

Implicaciones de la Investigación: La integración de HMA y MEs puede reducir la dependencia de fertilizantes químicos y pesticidas y promover sistemas de cultivo de tomate más resilientes y sostenibles.

Originalidad/Valor: Ofrece una síntesis sistemática y actualizada sobre la complementariedad funcional entre

HMA y MEs (bokashi líquido/TMT) y señala vacíos para la estandarización y la investigación aplicada.

Palabras clave: Rizósfera; hongos micorrízicos arbusculares; microorganismos eficientes; agricultura sostenible.

3.2 INTRODUÇÃO

A agricultura atual enfrenta complexos desafios relacionados à sustentabilidade, segurança alimentar e mitigação de impactos ambientais. Nesse contexto, a interação planta e microrganismo no solo desponta como uma estratégia viável para o desenvolvimento de sistemas agrícolas mais resilientes e por sua vez mais produtivos (Shin et al., 2017).

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.), uma das hortaliças de relevância econômica e social mais alto no mundo, é um modelo ideal para o estudo dessas interações devido à exigência e à complexa demanda nutricional e à sensibilidade a estresses (Bona et al., 2018; Gashash et al., 2022). Na rizosfera, a fina camada de solo que abrange às raízes ocorre uma atividade microbiana intensa, levada pela liberação de exsudatos radiculares que funcionam como sinais químicos e fontes de nutrientes, promovendo o recrutamento seletivo de microrganismos benéficos (Nanjundappa et al., 2019). Essa comunicação direcional sustenta processos-chave como o crescimento vegetal, a absorção de nutrientes e a defesa contra patógenos e pragas (Araujo, 2024).

Entre os simbioses mais relevantes, destacam-se os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) e as rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (PGPR), amplamente reconhecidos por seu papel na saúde e produtividade das culturas (Zhang et al., 2024). Os FMAs estabelecem simbiose mutualística com o tomateiro, expandindo a exploração do solo por meio de redes hifais extrarradiculares e aumentando a captação de nutrientes pouco móveis, como o fósforo, além de melhorar a tolerância a estresses hídricos, salinos e bióticos (Shafiei et al, 2022; Shin et al., 2017). As PGPR, por sua vez, atuam por múltiplos mecanismos, incluindo a fixação biológica de nitrogênio, a solubilização de fosfatos, a produção de fitohormônios e a indução de resistência sistêmica (Sagar et al., 2021).

O interesse por bioinsumos multifuncionais vem crescendo de forma significativa nos últimos anos, um deles são os microrganismos eficientes (MEs), aplicados em formulações fermentadas como o bokashi líquido. Esse insumo orgânico, rico em sua diversidade microbiana, tem como objetivo melhorar a estrutura e a fertilidade do solo, disponibilizar mais nutrientes e suprimir patógenos (Vicente et al., 2020). A versão líquida conhecida como TMT (Tecnologia de Microrganismos Tomita), desenvolvida por Celso K. Tomita, compostas por ingredientes como terra de bambuzal, melão de cana, carvão vegetal, ração de peixe, farinha de osso e farinha de arroz, formando um biofertilizante com alta concentração de comunidades microbiana e com rico potencial agrônômico (Rezende, 2007).

Estudos recentes indicam que o uso de FMAs e PGPR presentes nos MEs pode ter efeitos sinérgicos, aumentando o crescimento do tomateiro, a obtenção de nutrientes, melhorar a qualidade dos frutos e a resistência a pragas (Nanjundappa et al., 2019; Bona et al., 2018; Shafiei et al, 2022).

Assim, a hipótese desta revisão é que com a aplicação de MEs, como o bokashi líquido/TMT, pode interagir sinergicamente com os FMAs na rizosfera do tomateiro, trazendo benefícios nutricionais, fisiológicos e defensivos. Tomando como exemplo a soja que se associa a rizóbios para fixar nitrogênio, o tomateiro embora não seja leguminosa pode recrutar e integrar múltiplos simbiontes radiculares, formando um consórcio capaz de reduzir o consumo de insumos sintéticos e aumentar consideravelmente a resiliência da cultura. Este trabalho busca consolidar a base científica dessa abordagem, explorando mecanismos, evidências e implicações para sistemas de produção de tomate sustentáveis e alinhados aos princípios da agricultura regenerativa.

3.3 MATERIAIS E MÉTODOS

Durante o processo de produção deste artigo, especificamente na etapa de Tradução de artigos e correção de escrita, a ferramenta Copilot foi utilizada com o propósito de apoiar a melhoria da clareza, precisão e fluidez do conteúdo. Após a utilização da ferramenta, os autores revisaram e editaram os resultados, sendo inteiramente responsáveis pelo conteúdo aqui apresentado.

A pesquisa foi conduzida seguindo a metodologia PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), conforme proposto por Galvão et al. (2015). Este modelo de abordagem sistemática visa obter uma transparência maior, uma reprodutibilidade e uma abrangência maior na pesquisa bibliográfica, minimizando vieses e fornecendo uma síntese robusta do conhecimento existente sobre o tema.

A busca foi realizada em bases de dados eletrônicas com reconhecimento internacional, incluindo, mas não se limitando a, PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, Google Academico e SciELO. As queries de buscas, incluíram: "tomate" AND "rizosfera" AND "micorrizas", "microrganismos eficientes" AND "TMT Tecnologia de Microrganismos Tomita", "fixação de nitrogênio" AND "tomate" AND "rizosfera", "bokashi" AND "biofertilizante composto liquido" AND "Microrganismos eficientes", ("tomato" OR "Solanum lycopersicum") AND ("arbuscular mycorrhizal fungi" OR AMF OR mycorrhiza) AND ("effective microorganisms" OR EM OR bokashi OR TMT).

Foram impostas restrições de data na busca inicial para garantir a identificação de todos os estudos relevantes, a prioridade foi dada a artigos publicados nos últimos 10-15 anos para

assegurar a atualidade da revisão. Além da busca nas bases de dados, foram consultadas as listas de referências dos artigos mais relevantes identificados para encontrar estudos adicionais, foram identificados.

Os artigos identificados foram submetidos a um processo de seleção dividido nas seguintes etapas: (1) leitura de títulos e resumos e (2) leitura completa do texto. Os critérios de inclusão e exclusão foram definidos *a priori* para selecionar estudos mais pertinentes:

Critérios de Inclusão:

Artigos de pesquisa original, revisões sistemáticas, meta-análises e teses/dissertações publicadas em periódicos científicos revisados por pares. Estudos que abordam a planta de tomate (*Lycopersicon esculentum*), sua rizosfera, interações com micorrizas (especialmente FMAs), e/ou o uso de biofertilizantes como o bokashi (líquido ou sólido, com foco em processos anaeróbicos). Estudos que investigam a interação da planta de tomate com microrganismos benéficos para a defesa da planta e/ou aproveitamento de nutrientes. Artigos disponíveis em texto completo.

Critérios de Exclusão:

Artigos de opinião, editoriais, cartas ao editor, resumos de conferências sem texto completo disponível, e capítulos de livros que não sejam revisões sistemáticas. Estudos que não se concentram na planta de tomate ou em microrganismos do solo relevantes para o escopo desta revisão.

Para cada artigo selecionado, os seguintes dados foram extraídos e registrados em uma planilha padronizada: Área de concentração em ciências agrárias Autores e ano de publicação, título do artigo e periódico/instituição, objetivos do estudo. metodologia utilizada (tipo de estudo, delineamento experimental, condições de cultivo, variedades de tomate, microrganismos estudados, tipo de bokashi, etc.). Principais resultados e achados, conclusões dos autores, limitações do estudo, dados sobre a rizosfera do tomate e seus exsudatos, detalhes sobre a interação micorriza-tomate (colonização, benefícios, mecanismos), informações sobre o bokashi líquido anaeróbico (composição, processo de produção, efeitos na planta e solo).

Fluxo prisma, etapas e números: Identificação= Registros identificados nas bases de dados: n = 2.450. Triagem= Duplicatas removidas: n = 525, registros para triagem (título e resumo): n = 1.925, registros excluídos nesta etapa: n = 1.865. Elegibilidade= Textos completos avaliados: n = 60, textos excluídos (com motivos): n = 29. Inclusão= Estudos incluídos na análise qualitativa: n = 31.

Os dados extraídos foram sintetizados qualitativamente, agrupando estudos com resultados semelhantes e identificando tendências, lacunas e controvérsias na literatura. A síntese focou nos seguintes aspectos:

Interações micorrízicas: Tipos de micorrizas associadas ao tomate, mecanismos de simbiose, benefícios para a planta (nutrição, tolerância a estresses) e fatores que influenciam a colonização.

bokashi líquido anaeróbico: Processo de produção, composição, efeitos na microbiologia do solo, disponibilidade de nutrientes e desempenho da planta de tomate. Será dada atenção especial à inclusão de terra de bambusal, se houver dados disponíveis.

Mecanismos de defesa e aproveitamento de nutrientes: Como a planta de tomate utiliza microrganismos para sua proteção e para acessar nutrientes indisponíveis.

3.4 RESULTADO E DISCUSSÃO

3.4.1. Rizosfera e Fungos micorrízicos

A rizosfera, é o local de interação entre o solo e a raiz das plantas, constitui em um ambiente micro de atividade biológica e intensas interações físico-químicas, onde processos importantes da planta como a nutrição e a defesa vegetal são modulados. No tomateiro (*Solanum lycopersicum*), essa zona é fortemente influenciada pelos exsudatos radiculares misturas de açúcares, aminoácidos, ácidos orgânicos, vitaminas e fitohormônios que servem não apenas como fonte de energia e carbono, mas também produzem sinais químicos capazes de recrutar comunidades microbianas benéficas (Al-Dhumri et al., 2023; Fan, 2025)).

Essa capacidade da planta de arquitetar e moldar sua comunidade microbiana consiste no recrutamento de grupos específicos, os quais se destacam as rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (PGPR) e os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs). As PGPR, compostas predominantemente por *Bacillus* e *Pseudomonas*, contribuem para a produtividade e crescimento do tomateiro por mecanismos variados. No aspecto nutricional, destacam-se a solubilização macros nutrientes como fósforo e potássio, e até a fixação biológica de nitrogênio em algumas culturas assim como a produção de fitohormônios como auxinas e giberelinas, que estimulam o crescimento radicular e a absorção de macros e micros nutrientes. Atuam também no aspecto fitossanitário protegendo a planta contra patógenos por meio da produção de sideróforos e antibióticos, bem como pela indução de resistência sistêmica, mecanismos que diminuem a incidência de doenças e a dependência de defensivos sintéticos (Rojas, Hernández e Santoyo, 2016; Gashash et al., 2022).

Complementando a atuação das PGPR, os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) constroem uma simbiose mutualística com as raízes do tomateiro, desenvolvendo uma rede hifal extrarradicular que se estende a distâncias enormes em busca de nutrientes e água. Essa extensão estrutural amplia significativamente a área de absorção radicular, permitindo uma exploração de volumes de solo inacessíveis às raízes, facilitando assim a obtenção de água e

nutrientes, especialmente o fósforo um macronutriente essencial, porém de baixa mobilidade no solo o que é frequentemente limitante em sistemas agrícolas (Bona et al., 2018; Smith e smith, 2011). Ao melhorar a eficiência da busca e uso do fósforo, os FMAs contribuem para uma redução significativa na dependência de fertilizantes sintéticos, alinhando-se a práticas de manejo sustentáveis. Além disso, a colonização micorrízica desencadeia mudanças fisiológicas e bioquímicas que ajudam a tolerância da planta a estresses abióticos, como seca e salinidade, e estabelece defesas contra patógenos de solo, por meio de mecanismos como a indução de resistência sistêmica e a modulação do balanço hídrico e iônico (Sagar et al., 2021; Zhang et al., 2024).

Além dos mecanismos físicos e nutricionais descritos, a interação entre o tomateiro e os microrganismos da rizosfera é regulada por uma complexa rede de sinalização molecular. As raízes liberam compostos como flavonoides e estrigolactonas, que atraem, modulam e selecionam a atividade de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) e rizobactérias promotoras de crescimento (PGPR), contribuindo com a construção da comunidade microbiana associada (Nanjundappa et al., 2019). Entre esses sinais, as estrigolactonas desempenham papel fundamental ao estimular a germinação de esporos de FMAs e direcionar as hifas crescerem em direção às raízes, passo importante para o estabelecimento da simbiose (Visentin et al., 2024). Em contrapartida, os microrganismos liberam moléculas sinalizadoras capazes de ativar vias de defesa ou ativar o crescimento da planta, configurando uma comunicação que resulta em benefícios mútuos e contribui para a resiliência do tomateiro frente a estresses bióticos e abióticos (Shafiei et al 2022).

Em análise verificou-se que são os principais microrganismos recrutados pelo tomateiro, observou-se a simbiose micorrízica arbuscular (SMA), uma das associações mutualísticas amplamente distribuídas e ecologicamente relevantes no ambiente terrestre. Os autores constataram que, nessas interações, os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), pertencentes ao filo *Glomeromycota*, colonizam a maioria das raízes das plantas cultivadas incluindo o tomateiro (*Solanum lycopersicum*) e estabelecem uma rede de conexão funcional que vai muito além da simples absorção de nutrientes. Essa associação melhora a captação de elementos essenciais, como o fósforo, e contribui para a resiliência fisiológica da planta frente a estresses bióticos e abióticos, configurando-se como um pilar para sistemas agrícolas mais sustentáveis (Zhang et al., 2024).

A associação de planta e fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) tem demonstrado, em diferentes condições de cultivo e manejo, uma promoção de forma consistente o crescimento e a produtividade do tomateiro. Estudos recentes mostra que a inoculação com FMAs pode aumentar significativamente a biomassa da parte aérea e das raízes, o número e o peso dos

frutos e o teor de nutrientes nos tecidos vegetais, refletindo-se em maior eficiência de uso de recursos e potencial melhoria da qualidade dos frutos (Bona et al., 2018; Zhang et al., 2024). Zhang et al (2024) deu um bom exemplo de inoculação com *Funneliformis mosseae* e *Rhizophagus intraradices*, onde demonstrou em seu trabalho um crescimento superior e maior tolerância à seca, efeito associado à modulação do metabolismo lipídico mecanismo que contribui para a manutenção da integridade das membranas celulares e para o ajuste osmótico em condições de déficit hídrico.

A simbiose micorrízica arbuscular não apenas melhora a nutrição do tomateiro, mas também desencadeia mudanças fisiológicas e bioquímicas que ampliam sua tolerância a estresses. Entre essas adaptações estão o aumento da eficiência no uso da água, a intensificação da atividade fotossintética e a modulação da síntese de fitohormônios como auxinas, citocininas e ácido abscísico, que regulam o crescimento e as respostas ao estresse (Sagar et al., 2021). Os FMAs contribuem ainda para a tolerância à salinidade e metais pesados, promovendo o reequilíbrio iônico, estimulando a produção de antioxidantes e restringindo a translocação de elementos tóxicos para a parte aérea (Nanjundappa et al., 2019). Esses mecanismos integrados ajudam a manter a turgescência celular, retardam o fechamento estomático e preservam a taxa fotossintética mesmo sob déficit hídrico (Zhang et al., 2024), fortalecendo a planta frente a condições adversas.

Entre os diversos benefícios da simbiose micorrízica arbuscular, destaca-se a contribuição para a tolerância do tomateiro a estresses bióticos e abióticos. Os FMAs podem atenuar os efeitos da salinidade ao promover o reequilíbrio iônico, reduzir o acúmulo de sódio e aumentar a absorção de potássio (Sagar et al., 2021). Além disso, estimulam a produção de compostos antioxidantes que neutralizam espécies reativas de oxigênio e aumentam a tolerância a metais pesados por meio do sequestro desses elementos em suas hifas ou da restrição de sua translocação para a parte aérea (Nanjundappa et al., 2019). Esses mecanismos preservam processos fisiológicos vitais, como a fotossíntese e o crescimento radicular, reforçando a capacidade da planta de enfrentar ambientes adversos.

Nesse contexto dos estresses bióticos, a colonização por fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) desencadeia um processo de resistência sistêmica (ISR) um estado de prontidão defensiva que envolve a ativação coordenada de vias hormonais, como as do ácido jasmônico e do etileno, fazendo com que a planta se torne menos suscetível a patógenos de solo, como *Phytophthora* e *Fusarium*, e a pragas, incluindo nematoides e insetos (Al-fraih, 2015; Shafiei et al, 2022). Um exemplo marcante é a inoculação com *Funneliformis mosseae* e *Rhizophagus intraradices*, que comprovou o aumento da resistência do tomateiro à broca-do-tomateiro (*Tuta absoluta*), reduzindo o crescimento larval e os danos foliar efeito associado tanto à alteração da

qualidade nutricional dos tecidos quanto ao acúmulo de compostos de defesa (Shafiei et al, 2022). Essa proteção é resultado da ação sinérgica de mecanismos múltiplos: competição por sítios de colonização e nutrientes, produção de metabólitos antimicrobianos e ativação das vias de defesa da planta, compondo uma barreira integrada contra ameaças bióticas (Araujo et al., 2024).

3.4.2 Microrganismos eficientes

Desenvolvidos originalmente no Japão, os MEs consistem em um consórcio microbiano diversificado incluindo bactérias fototróficas, bactérias ácido-láticas, leveduras, actinomicetos e fungos de fermentação cuja complementaridade funcional potencializa processos vital no solo e na planta (Shin et al., 2017). Quando aplicados ao solo ou diretamente às plantas, esses microrganismos interagem sinergicamente para criar um ambiente rizosférico equilibrado e ativo, favorecendo a ciclagem de nutrientes, a decomposição de matéria orgânica, a supressão de patógenos e a promoção de respostas fisiológicas que sustentam a produtividade e a resiliência do sistema agrícola (Nanjundappa et al., 2019).

A eficácia dos microrganismos eficientes (MEs) está diretamente relacionada à diversidade e à interação harmoniosa de seus componentes, cuja complementaridade funcional sustenta a saúde do solo e o vigor das plantas. Entre esses grupos, destacam-se as bactérias fototróficas, capazes de utilizar luz solar e calor do solo para sintetizar aminoácidos, ácidos nucleicos e açúcares a partir de exsudatos radiculares e matéria orgânica, fornecendo compostos diretamente assimiláveis pelas plantas ou substratos para outros microrganismos (Oliveira, 2023). As bactérias ácido-láticas convertem carboidratos em ácido lático, um potente agente antimicrobiano que suprime patógenos (Rezende, 2007). As leveduras produzem hormônios e enzimas que estimulam a divisão celular e o crescimento radicular, além de compostos antimicrobianos que inibem patógenos (Farias, 2008). Os actinomicetos, microrganismos filamentosos, sintetizam antibióticos e enzimas capazes de degradar matéria orgânica complexa, contribuindo para a supressão de doenças (Hernani, 2025). Por fim, os fungos de fermentação aceleram a decomposição de resíduos orgânicos, transformando-os em formas mais biodisponíveis para plantas e outros microrganismos (Shin et al., 2017). A ação integrada desses grupos cria um ambiente rizosférico mais equilibrado e funcional, favorecendo a ciclagem de nutrientes, a supressão de patógenos e a promoção do crescimento vegetal condições ideais para potencializar a sinergia com fungos micorrízicos arbusculares no tomateiro.

O bokashi destaca-se como um biofertilizante orgânico fermentado que, diferentemente da compostagem tradicional, é produzido em condições anaeróbicas ou microaeróbicas. Esse processo favorece a multiplicação de uma comunidade microbiana diversificada e ativa,

resultando em um insumo rico em microrganismos benéficos e nutrientes prontamente disponíveis para as plantas (Vicente et al., 2020). A versão líquida conhecida como *chorume de bokashi* concentra ainda mais esses microrganismos e seus metabólitos bioativos, sendo obtida pela lixiviação do bokashi sólido ou pela fermentação de uma formulação específica em meio líquido. Essa forma apresenta vantagens operacionais, como facilidade de aplicação via solo ou foliar, rápida assimilação de nutrientes e potencial para atuar como bioestimulante, ampliando seu uso em sistemas agrícolas sustentáveis.

Entre as variações de bokashi líquido, destaca-se a formulação do TMT (Tecnologia de Microrganismos Tomita), desenvolvida pelo agrônomo Dr. Celso Katsuhiko Tomita, que combina ingredientes selecionados para maximizar a multiplicação e a diversidade funcional dos microrganismos eficientes (MEs), visando melhorar a fertilidade do solo, promover o crescimento vegetal e suprimir patógenos. Um de seus diferenciais é a inclusão de terra de bambuzal, reconhecida por abrigar comunidades microbianas altamente diversificadas, compostas por bactérias e fungos com comprovado potencial promotor de crescimento e efeito supressor de doenças (Wang, 2025). Esse componente atua como um biofertilizante natural, fornecendo uma base robusta de microrganismos adaptados a ambientes competitivos, capazes de colonizar rapidamente a rizosfera e interagir sinergicamente com outros agentes benéficos, como fungos micorrízicos arbusculares, ampliando os benefícios para o tomateiro.

Além da terra de bambuzal, a formulação do TMT incorpora outros componentes estratégicos que potencializam a multiplicação e a funcionalidade dos microrganismos eficientes. O melaço de cana atua como uma fonte de carbono e energia prontamente assimilável, estimulando rapidamente a atividade microbiana e favorecendo a colonização inicial da rizosfera após a aplicação (Wu et al., 2023). O carvão vegetal (*biochar*) funciona como um micro-habitat estável, cuja estrutura porosa protege e abriga as comunidades microbianas, prolonga sua sobrevivência no solo e, simultaneamente, melhora a retenção de água e nutrientes, criando um ambiente mais favorável ao desenvolvimento radicular (De Melo e Da Silva, 2022; Teixeira et al., 2015). Já a ração de peixe, composta por proteínas, lipídios, minerais e micronutrientes essenciais, fornece um substrato de alta qualidade que sustenta a diversificação e o vigor da microbiota, além de contribuir para a liberação gradual de nutrientes que podem ser assimilados pelas plantas durante o processo de mineralização.

A aplicação de bokashi líquido/TMT no cultivo do tomateiro promove uma série de benefícios interligados que impactam diretamente a saúde do solo e o desempenho da planta. A diversidade microbiana presente nesse biofertilizante contribui para a melhoria da fertilidade do solo, intensificando a ciclagem de nutrientes, acelerando a decomposição da matéria orgânica e favorecendo a formação de agregados estáveis, o que aprimora a estrutura e a

capacidade de retenção de água e nutrientes (Shin et al., 2017; Mondaca et al., 2025). Paralelamente, a produção de fitohormônios, enzimas e ácidos orgânicos pelos microrganismos eficientes estimula o crescimento radicular e da parte aérea, resultando em maior biomassa e produtividade (Rezende et al., 2021; Andrade, 2020). Esses microrganismos também atuam como solubilizadores de fósforo e potássio, convertendo formas insolúveis em nutrientes assimiláveis, o que reduz a dependência de fertilizantes sintéticos (Paiva et al., 2022). Além disso, a supressão de doenças e pragas é favorecida por mecanismos como a competição por nichos e nutrientes, a produção de compostos antimicrobianos e a indução de resistência sistêmica, com estudos apontando que o bokashi pode igualar ou até superar outros insumos na melhoria da qualidade dos frutos e no controle de patógenos (Shin et al., 2017; Mondaca et al., 2025). Esses efeitos, quando combinados, criam um ambiente rizosférico mais equilibrado e resiliente, estabelecendo as bases para interações sinérgicas com fungos micorrízicos arbusculares e outras práticas de manejo sustentável.

O bokashi líquido/TMT, graças à sua composição diversificada de microrganismos e nutrientes, atua de forma abrangente na melhoria da fertilidade do solo, no estímulo ao crescimento vegetal e na supressão de patógenos, consolidando-se como um insumo-chave alinhado aos princípios da agricultura sustentável e orgânica. Esses efeitos, já significativos de forma isolada, podem ser potencializados quando o bokashi líquido interage com outros simbiontes radiculares, como os fungos micorrízicos arbusculares, estabelecendo uma rede funcional capaz de ampliar a eficiência nutricional, a resiliência fisiológica e a defesa do tomateiro. Experimentos realizados na Universidade estadual do Norte do Paraná (UENP), Campus de Bandeirantes-Paraná-Brasil, demonstraram resultados promissores no controle de nematoide.

3.4.3. Microrganismos eficientes e fungos micorrízicos

Após a análise dos efeitos individuais dos microrganismos eficientes (MEs) e dos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) no tomateiro, torna-se evidente que sua aplicação combinada na rizosfera configura um sistema biológico altamente integrado, com potencial sinérgico para otimizar simultaneamente o crescimento, a nutrição e a defesa da planta. Embora atuem por mecanismos distintos os FMAs ampliando a absorção de nutrientes pouco móveis e modulando respostas fisiológicas, e os MEs promovendo a ciclagem de nutrientes, a supressão de patógenos e a estimulação hormonal, sua coexistência e cooperação podem gerar efeitos multiplicadores, superando consistentemente os resultados obtidos com aplicações isoladas (Sagar et al., 2021). Essa interação sinérgica cria um ambiente rizosférico mais equilibrado e funcional (Almeida et al., 2023), estabelecendo as bases para ganhos sustentáveis de produtividade e resiliência no cultivo do tomateiro.

A interação entre microrganismos eficientes (MEs) e fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) é marcada pela complementaridade funcional. Enquanto os FMAs são especialistas na captação de fósforo e outros nutrientes pouco móveis, os MEs contribuem com a solubilização de fosfatos, a fixação biológica de nitrogênio e a produção de fitohormônios (Sagar et al., 2021). No campo da defesa vegetal, os FMAs induzem resistência sistêmica e fortalecem a planta por meio de melhor nutrição, enquanto os MEs atuam no biocontrole direto, competindo por nichos e nutrientes, produzindo compostos antimicrobianos e também ativando vias de defesa (Shin et al., 2017; Shafiei et al., 2022). Essa cooperação resulta em uma barreira integrada contra estresses bióticos e em um suprimento nutricional mais amplo e eficiente, potencializando o desempenho fisiológico e produtivo do tomateiro.

Esses mecanismos, ao operarem de forma simultânea e complementar, não apenas potencializam o desempenho fisiológico e produtivo do tomateiro, mas também reduzem a dependência de insumos químicos, alinhando-se aos princípios da agricultura sustentável.

A literatura científica confirma, por meio de múltiplos estudos, que a utilização de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) e rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (PGPR) frequentemente presentes em formulações de microrganismos eficientes (MEs) potencializa de forma expressiva o desempenho do tomateiro. Evidências de Nanjundappa et al. (2019) e Sagar et al. (2021) demonstram que a aplicação combinada de FMAs e espécies de *Bacillus* resulta em aumentos significativos no crescimento vegetativo, na absorção de nutrientes e na tolerância a estresses, como a salinidade. Esses efeitos decorrem da complementaridade funcional entre os simbiontes: enquanto os FMAs expandem a capacidade de captação de nutrientes pouco móveis e modulam respostas fisiológicas, as bactérias do gênero *Bacillus* contribuem com a solubilização de fosfatos, a produção de fitohormônios e a indução de resistência sistêmica, criando um efeito sinérgico que supera os benefícios obtidos com a aplicação isolada de cada grupo.

Evidências recentes reforçam o potencial da co-inoculação de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) e bactérias benéficas muitas vezes presentes em formulações de microrganismos eficientes (MEs) no cultivo do tomateiro. Shafiei et al (2022) demonstraram que essa associação pode estimular mutuamente o crescimento de ambos os grupos microbianos, resultando em plantas com maior vigor e resistência ampliada a pragas como a broca-do-tomateiro (*Tuta absoluta*). Esse efeito sinérgico decorre da combinação de mecanismos complementares, como a expansão da rede hifal para absorção de nutrientes pouco móveis e a produção bacteriana de fitohormônios e compostos antimicrobianos. De forma convergente, Bona et al. (2018) observaram que a inoculação com microrganismos do solo incluindo FMAs e bactérias promotoras de crescimento pode reduzir drasticamente a

necessidade de fertilizantes sintéticos, mantendo ou até elevando o rendimento e a qualidade dos frutos. Esses resultados indicam que a integração de simbiontes radiculares é uma estratégia promissora para aumentar a produtividade e a resiliência do tomateiro, ao mesmo tempo em que diminui a dependência de insumos externos.

Embora a formulação específica do TMT ainda careça de ampla validação em artigos científicos revisados por pares, os princípios que orientam a escolha de seus componentes são amplamente respaldados pela literatura quanto ao seu papel na promoção da atividade microbiana do solo e no fornecimento de nutrientes.

3.5 CONCLUSÃO

Em resposta ao objetivo proposto, esta revisão confirma que a interação sinérgica entre *Solanum lycopersicum*, fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) e microrganismos eficientes (MEs) constitui uma estratégia viável e promissora para o fortalecimento da sustentabilidade agrícola. As evidências analisadas demonstram que:

1. A rizosfera do tomateiro atua como um centro dinâmico de recrutamento microbiano, no qual exsudatos radiculares atraem e selecionam microrganismos benéficos capazes de otimizar a nutrição e a defesa da planta.
2. FMAs e MEs desempenham funções complementares: os FMAs expandem a capacidade de absorção de água e nutrientes pouco móveis, enquanto os MEs — como os presentes no bokashi líquido/TMT — enriquecem a fertilidade do solo, promovem a ciclagem de nutrientes e contribuem para a supressão de patógenos.
3. O efeito combinado desses simbiontes resulta em sistemas de cultivo mais resilientes, com tomateiros mais tolerantes a estresses bióticos e abióticos e menos dependentes de insumos sintéticos.

Para que essa tecnologia seja amplamente adotada, recomenda-se que pesquisas futuras priorizem a padronização das formulações de MEs e a elucidação dos mecanismos moleculares que regem essas interações, assegurando sua eficácia em diferentes variedades de tomate e condições de manejo. A implementação dessas práticas representa um avanço concreto rumo a sistemas produtivos mais eficientes, saudáveis e ambientalmente sustentáveis, alinhados aos princípios da agricultura regenerativa.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) e a Universidade Estadual do Norte do Paraná (UENP) Campus Luiz Meneghel-Bandeirantes –Paraná –Brasil, pelo apoio financeiro e institucional que possibilitou

a realização deste trabalho.

3.6 REFERÊNCIAS

- AL-DHUMRI, S. A.; et al. Application of molasses as an eco-innovative approach substitutes mineral nitrogen fertilization and enhances sugar beet productivity. **Waste and Biomass Valorization**, v. 14, n. 1, p. 1-14, 2023.
- AL-FRAIH, A. M. E. A. Effect of soil amendments and root containment on nematode populations in organic greenhouse tomatoes in the Netherlands. 2015. Tese (Doutorado) – **Wageningen University**, Wageningen, Países Baixos.
- ALMEIDA, M. E. A.; et al. Produção e caracterização de microrganismos eficientes: uma alternativa sustentável. **Cadernos de Agroecologia**, v. 18, n. 2, 2023.
- ANDRADE, F. M. C. **Caderno dos microrganismos eficientes (EM): instruções práticas sobre uso ecológico e social do EM**. 2020.
- ARAUJO, A. S. F.; et al. Aumentando a resiliência de plantas a patógenos por meio do melhoramento estratégico: aproveitando bactérias benéficas da rizosfera para proteção da progênie. **Rhizosphere**, v. 30, p. 100890, 2024.
- BISPO, R. L. B.; et al. Sugarcane molasses as substrate to soil yeasts: Indole-3-acetic acid production and maize initial growth promotion. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 47, 2023.
- BONA, E.; et al. Combined bacterial and mycorrhizal inocula improve tomato quality at reduced fertilization. **Scientia Horticulturae**, v. 234, p. 160-165, 2018.
- DE MELO, R. E.; DA SILVA, A. E. B. Influência da adição de biochar sobre as propriedades físico-hídricas do solo: uma revisão. **Pesquisa em temas de ciências agrárias**, p. 95, 2022.
- FAN, X.; et al. Exsudatos radiculares e metabólitos microbianos: sinais e nutrientes nas interações planta-micróbio. **Science China Life Sciences**, p. 1-13, 2025.
- FARIAS, M. V.; et al. Produção de enzimas hidrolíticas por leveduras isoladas de solos de áreas preservadas em Roraima, Brasil. 2008.
- GALVÃO, T. F.; et al. Principais itens para relatar revisões sistemáticas e meta-análises: a recomendação PRISMA. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 24, n. 2, p. 335-342, 2015.
- GASHASH, E. A.; et al. Efeitos de rizobactérias promotoras de crescimento vegetal (PGPR) e cianobactérias nas características botânicas de plantas de tomateiro (*Solanum lycopersicon* L.). **Plants**, v. 11, n. 20, p. 2732, 2022.
- HERNANI, L. C. **Microrganismos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2021.

- LEHMANN, A.; ZHENG, W.; RILLIG, M. C. Soil biota contributions to soil aggregation. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 1, n. 11, p. 544-553, 2020.
- LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Eds.). **Biochar for environmental management: science, technology and implementation**. 2. ed. London: Routledge, 2015.
- MONDACA, P.; et al. Comparative effects of compost, bokashi, and Trichoderma on soil and tomato quality in a Mediterranean area. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 25, n. 1, p. 351-362, 2025.
- NANJUNDAPPA, A.; et al. Interaction between arbuscular mycorrhizal fungi and Bacillus spp. in soil enhancing growth of crop plants. **Fungal Biology and Biotechnology**, v. 6, n. 1, 2019.
- NUGROHO, P. A.; et al. The effect of molasses application on soil biological indicators and maize growth of different tillage soil: a pot experiment. **Journal of Environmental Geography**, v. 16, n. 1-2, p. 1-8, 2023.
- OLIVEIRA, G. F. **Rizosfera: o paraíso dos microrganismos multifuncionais**. Juruti, PA: Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, 2023.
- PAIVA, C. A. O.; et al. Microrganismos solubilizadores de fósforo e potássio na cultura da soja. **Bioinsumos na cultura da soja**. Brasília, DF, 2022.
- REZENDE, F. V. **Aprenda como se faz: biofertilizante**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2007. (Comunicado Técnico, 53).
- REZENDE, C. C.; et al. Microrganismos multifuncionais: utilização na agricultura. **Research, Society and Development**, v. 10, 2021.
- ROJAS-SOLÍS, D.; HERNÁNDEZ-PACHECO, C. E.; SANTOYO, G. Avaliação de Bacillus e Pseudomonas para colonizar a rizosfera e seu efeito na promoção do crescimento em tomate (Physalis ixocarpa Brot. ex Horm.). **Revista Chapingo. Série Horticultura**, v. 1, p. 45-58, 2016.
- SAGAR, A.; et al. Plant growth promoting rhizobacteria, arbuscular mycorrhizal fungi and their synergistic interactions to counteract the negative effects of saline soil on agriculture: key macromolecules and mechanisms. **Microorganisms**, v. 9, n. 7, 2021.
- SHAFIEI, F.; SHAHIDI-NOGHABI, S.; SEDAGHATI, E. The impact of arbuscular mycorrhizal fungi on tomato plant resistance against Tuta absoluta (Meyrick) in greenhouse conditions. **Journal of Asia-Pacific Entomology**, v. 25, n. 3, 2022.
- SHIN, K.; et al. Variability of effective micro-organisms (EM) in bokashi and soil and effects on soil-borne plant pathogens. **Crop Protection**, v. 99, p. 168-176, 2017.
- SMITH, S. E.; SMITH, F. A. Roles of arbuscular mycorrhizas in plant nutrition and growth: new paradigms from cellular to ecosystem scales. **Annual Review of Plant Biology**, v. 62, p. 227-250, 2011.
- TEIXEIRA, W. G.; et al. **Biochar como condicionador de solos tropicais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2015. (Circular Técnica, 35).

VICENTE, N. F. P.; et al. Uma revisão bibliográfica sobre bokashi dos últimos 20 anos. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, e833910935, 2020. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8339>.

VISENTIN, I.; et al. Estrigolactonas promovem a floração induzindo o módulo miR319-LA-SFT em tomate. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 121, n. 19, e2316371121, 2024.

WU, Qihua et al. Combined chemical fertilizers with molasses increase soil stable organic phosphorus mineralization in sugarcane seedling stage. **Sugar Tech**, v. 25, n. 3, p. 552-561, 2023.

4. DESENVOLVIMENTO: ARTIGO: Efeitos da aplicação de microrganismo eficiente sobre crescimento, produção e qualidade de frutos de *Solanum lycopersicum* L.

4.1 RESUMO

O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) é uma cultura de grande relevância econômica e nutricional. Neste estudo, avaliou-se o efeito do inoculante microbiano TMT (Tomita Microorganism Technology) em diferentes doses e frequências sobre o crescimento vegetativo, biomassa e produção de frutos em ambiente protegido. O delineamento empregando o uso do delineamento inteiramente casualizado (DIC) composto por sete tratamentos e uma testemunha, avaliaram-se diferentes doses e frequências de aplicação do produto associado à adubação mineral NPK 10-10-10, sendo que os tratamentos T1 (50 L/ha⁻¹), T2 (100 L/ha⁻¹), T3 (200 L/ha⁻¹) e T7 (400 L/ha⁻¹) receberam aplicação única, enquanto T4 (50 L/ha⁻¹), T5 (100 L/ha⁻¹) e T6 (200 L/ha⁻¹) foram submetidos a duas aplicações fracionadas da mesma dose, demonstrando os resultados que a aplicação fracionada do TMT promoveu incrementos significativos na altura das plantas (até 22% em relação à testemunha), na área foliar (incremento médio de 18%), no acúmulo de biomassa seca (25%), na produtividade (elevação de 20% no número e peso dos frutos), bem como melhorias nos parâmetros de qualidade, enquanto os tratamentos T5 e T6 se sobressaíram quanto ao número de frutos (56 e 55, respectivamente), ao peso e ao calibre dos frutos, ao passo que a aplicação única concentrou os efeitos no crescimento vegetativo sem ganhos expressivos na produção reprodutiva — como evidenciado pelo tratamento T7, que, embora vigoroso vegetativamente, resultou em menor desempenho reprodutivo —, indicando que a eficácia do TMT como bioinsumo para o tomateiro está intrinsecamente vinculada ao manejo adotado, sendo as aplicações fracionadas superiores por sincronizarem a liberação de nutrientes e os estímulos microbianos às fases fenológicas da planta, conciliando, assim, maximização do crescimento, qualidade comercial dos frutos e alinhamento aos princípios da agricultura regenerativa.

Palavras-chave: tomateiro, bioinsumos, produtividade, sustentabilidade agrícola.

ABSTRACT

The tomato plant (*Solanum lycopersicum* L.) is a crop of great economic and nutritional relevance. In this study, the effect of the microbial inoculant TMT (Tomita Microorganism Technology) at different doses and application frequencies was evaluated on vegetative growth, biomass accumulation, and fruit production under protected cultivation. Using a completely randomized design (CRD) consisting of seven treatments and one control, different doses and frequencies of the product were tested in association with mineral fertilization (NPK 10-10-10). Treatments T1 (50 L/ha⁻¹), T2 (100 L/ha⁻¹), T3 (200 L/ha⁻¹), and T7 (400 L/ha⁻¹) received a single application, whereas T4 (50 L/ha⁻¹), T5 (100 L/ha⁻¹), and T6 (200 L/ha⁻¹) were subjected to two split applications of the same dose. Results demonstrated that split applications of TMT promoted significant increases in plant height (up to 22% compared to the control), leaf area (average increase of 18%), dry biomass accumulation (25%), and yield (20% increase in fruit number and weight), as well as improvements in quality parameters. Treatments T5 and T6 stood out in terms of fruit number (56 and 55, respectively), fruit weight, and fruit size, while single applications concentrated effects on vegetative growth without expressive gains in reproductive performance—as evidenced by treatment T7, which, despite vigorous vegetative growth, resulted in lower reproductive performance. These findings indicate that the effectiveness of TMT as a bioinput

for tomato cultivation is intrinsically linked to the management strategy, with split applications proving superior by synchronizing nutrient release and microbial stimuli with the plant's phenological stages, thereby maximizing growth, enhancing commercial fruit quality, and aligning with the principles of regenerative agriculture.

Keywords: tomato, bioinputs, productivity, agricultural sustainability.

4.2 INTRODUÇÃO

O tomateiro (*Solanum lycopersicum L.*) é uma das hortaliças mais cultivadas e consumidas no mundo, desempenhando papel central tanto na alimentação humana quanto na economia agrícola. A busca por sistemas de produção mais sustentáveis tem impulsionado o uso de bioinsumos e inoculantes microbianos como alternativas ou complementos à adubação química convencional. Esses insumos atuam não apenas na disponibilização de nutrientes, mas também na promoção de crescimento vegetal por meio de mecanismos fisiológicos e bioquímicos (Cirillo et al., 2023).

A disponibilidade de nutrientes, especialmente nitrogênio (N) e fósforo (P), é determinante para o crescimento e a expansão foliar, uma vez que ambos sustentam processos vitais como síntese proteica, produção de clorofila e divisão celular. Estudos recentes demonstram que o balanço entre N e P exerce efeito direto sobre a capacidade fotossintética e o vigor vegetativo das plantas, reforçando a importância de um suprimento equilibrado desses nutrientes (Ni et al., 2024; Tian et al., 2024). Além disso, pesquisas apontam que fatores ambientais e filogenéticos modulam a concentração foliar de N e P, influenciando a plasticidade fenotípica e a adaptação das espécies às condições edáficas (Tian et al., 2024).

Os microrganismos eficientes (EM) constituem consórcios microbianos que incluem bactérias ácido-láticas, leveduras, actinobactérias e fungos fotossintéticos, capazes de atuar sinergicamente na rizosfera. Esses consórcios promovem a mineralização de nutrientes, aumentam a atividade enzimática e favorecem a disponibilidade de fósforo e nitrogênio, elementos essenciais para a expansão foliar e o crescimento celular. Além disso, os EM contribuem para a melhoria da estrutura do solo, aumentando a retenção de água e a estabilidade de agregados, o que resulta em maior resiliência das plantas frente a estresses ambientais (Demir et al., 2024).

Estudos recentes reforçam que o uso de EM como biofertilizantes pode reduzir a dependência de insumos químicos e melhorar atributos fisiológicos e produtivos em hortaliças. Em tomateiro, consórcios bacterianos e endofíticos têm demonstrado capacidade de sintetizar fitohormônios como o ácido indolacético (AIA), que promove alongação celular

e maior desenvolvimento radicular, ampliando a absorção de nutrientes e água (Feng et al., 2024). Além disso, pesquisas apontam que a inoculação com EM aumenta a diversidade microbiana do solo e exerce efeito positivo sobre a qualidade dos frutos, tornando-se uma estratégia promissora para sistemas agrícolas sustentáveis (Li et al., 2023).

Nesse contexto, inoculantes microbianos têm se destacado como ferramentas capazes de aumentar a eficiência de absorção de nutrientes e melhorar atributos agrônômicos do tomateiro. A inoculação com consórcios microbianos, por exemplo, mostrou-se eficaz em ampliar a diversidade microbiana do solo e melhorar o desempenho da cultura mesmo sob condições de deficiência hídrica e nutricional (Cirillo et al., 2023). Outros trabalhos confirmam que bioinoculantes à base de bactérias e cianobactérias promovem maior crescimento, produtividade e qualidade dos frutos, evidenciando o potencial desses insumos na agricultura sustentável (Mahajan; Sharma, 2023; Hakkoum et al., 2024).

A Tecnologia de Microrganismos Tomita (TMT) tem sido amplamente adotada por agricultores, particularmente no âmbito da agricultura orgânica e regenerativa. Trata-se de uma formulação artesanal, produzida na própria propriedade rural, que consiste em um consórcio microbiano fermentado em meio líquido, cuja composição inclui terra de bambuzal, melaço de cana, carvão vegetal, farinha de osso e farinha de arroz, ingredientes que visam maximizar a diversidade funcional e a estabilidade dos microrganismos eficientes. Diferentemente de bioinsumos comerciais padronizados, como isolados de *Bacillus* ou *Trichoderma*, o TMT não possui registro ou controle de qualidade assegurado por uma empresa, o que torna sua utilização dependente de conhecimentos empíricos transmitidos entre produtores. Essa característica justifica a necessidade de investigação científica que valide seus efeitos e estabeleça protocolos de manejo adequados, uma vez que os resultados observados com outros bioinsumos não são diretamente transponíveis para essa tecnologia caseira.

Embora o uso de bioinsumos à base de microrganismos eficientes (EM) venha crescendo na agricultura, persistem lacunas científicas quanto à definição de protocolos de manejo otimizados para o tomateiro, especialmente no que se refere às doses e à frequência de aplicação. A literatura disponível carece de estudos sistemáticos que comparem diferentes estratégias de aplicação e suas respectivas respostas em termos de crescimento vegetativo, produtividade e qualidade dos frutos. Ademais, não há consenso sobre os limites entre doses benéficas e potencialmente prejudiciais, uma vez que concentrações elevadas de microrganismos podem induzir desvios fisiológicos que comprometem a produção reprodutiva.

Diante do exposto, a hipótese que orientou este estudo foi a de que a aplicação fracionada do TMT, por sincronizar a liberação de nutrientes e os estímulos microbianos com as fases fenológicas do tomateiro, resulta em incrementos superiores de crescimento,

produtividade e qualidade dos frutos em comparação às aplicações únicas, independentemente da dose total aplicada. Espera-se, adicionalmente, que doses muito elevadas em aplicação única possam deslocar o balanço fisiológico da planta em favor do crescimento vegetativo em detrimento da produção reprodutiva.

Compreender como diferentes doses e frequências de aplicação de biofertilizantes microbianos influenciam o desenvolvimento morfofisiológico e produtivo do tomateiro é essencial para otimizar o manejo e maximizar os benefícios agrônômicos. Desta forma objetivo do experimento foi avaliar os efeitos da aplicação de diferentes doses e frequências do inoculante microbiano TMT (Tomita Microorganism Technology) sobre o crescimento vegetativo, a biomassa e a produtividade do tomateiro (*Solanum lycopersicum L.*), em ambiente protegido.

4.3 MATERIAL E MÉTODOS

Localização e Condições Experimentais

O experimento foi conduzido entre fevereiro e julho de 2025 em casa de vegetação na Universidade Estadual do Norte do Paraná (UENP), Campus Luiz Meneghel, município de Bandeirantes-PR, localizado a 23°06'34.59"S, 50°21'34.70"W. O ambiente controlado permitiu a manutenção de temperatura média de 25° a 30°C, umidade relativa do ar de 70 ± 5% e fotoperíodo natural de aproximadamente 12 horas, condições que minimizaram a interferência de variáveis ambientais externas.

Preparo do solo e Vasos

Utilizou-se solo classificado como LATOSSOLO VERMELHO eutroférico, coletado em área agrícola da Fazenda escola da UENP (Figura 1 Análise física-química do solo). O substrato foi acondicionado em vasos plásticos com capacidade de 11 litros. A superfície do substrato recebeu cobertura com palhada de gramíneas na espessura de 2 cm, visando reduzir a evaporação de água e manter a estabilidade térmica e fornecer material orgânico para os microrganismos (Figura 2). Dois dias antes do transplante (Figura 2), o substrato foi umedecido até atingir capacidade de campo apropriada.

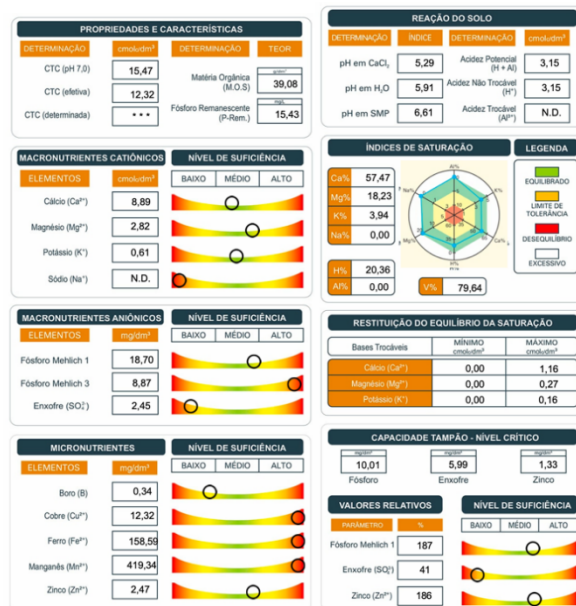


Figura 1, Análise de solo Fonte LaborSolo.

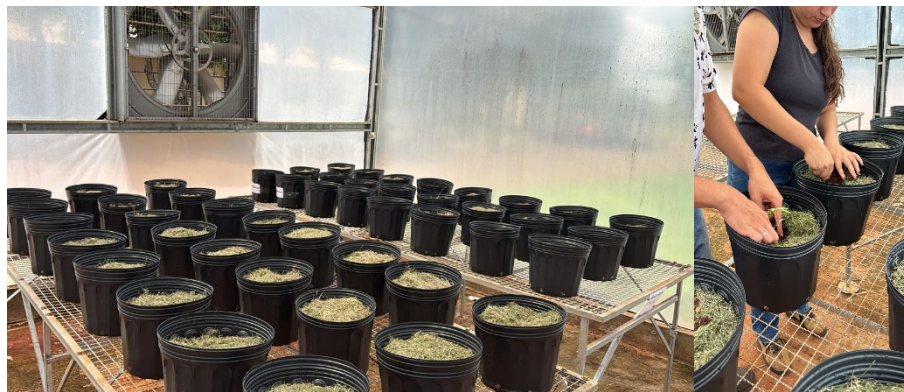


Figura 2, vasos com palhada e transplantio. Fonte autor.

Delineamento Experimental e Tratamentos

Adotou-se delineamento inteiramente casualizado (DIC) com 8 tratamentos e 6 repetições. Ocorrendo assim à perda de uma planta no tratamento testemunha atribuída à adoção de níveis reduzidos de adubação sintética, estratégia empregada para induzir a liberação de exsudatos radiculares capazes de recrutar microrganismos eficientes, o que, na ausência da aplicação do TMT, intensificou o estresse nutricional e inviabilizou uma das unidades experimentais nesse tratamento. Os tratamentos consistiram em:

1. **Testemunha:** Ausência de aplicação de TMT
2. **T1:** 50 L/ha⁻¹ (1 aplicação)
3. **T2:** 100 L/ha⁻¹ (1 aplicação)
4. **T3:** 200 L/ha⁻¹ (1 aplicação)
5. **T4:** 50 L/ha⁻¹ (2 aplicações)

6. **T5:** 100 L/ha⁻¹ (2 aplicações)
7. **T6:** 200 L/ha⁻¹ (2 aplicações)
8. **T7:** 400 L/ha⁻¹ (1 aplicação)

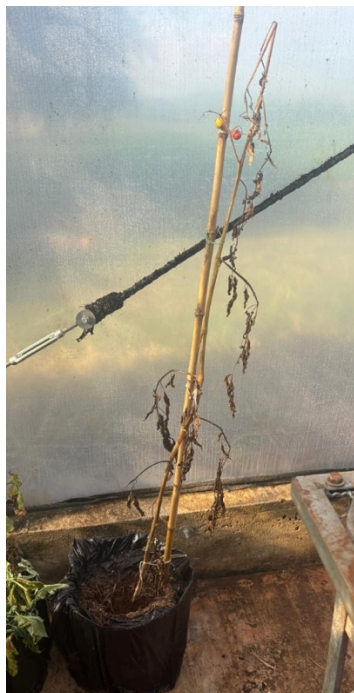


Figura 3, planta morta. Fonte autor.

Material Vegetal e Estabelecimento da Cultura

Foram utilizadas mudas de tomateiro (*Solanum lycopersicum L.*) da cultivar Saladet Debora. No momento do transplântio, as plantas apresentavam altura média de 15 cm (Figura 3). Aos 26 dias após o transplântio, quando as plantas atingiram 1,0 m de altura, procedeu-se ao tutoramento individual utilizando hastes de bambu.



Figura 4, mudas. Fonte Autor.

Produção e Aplicação do Inoculante Microbiano

O TMT (Tomita Microorganism Technology) foi produzido em bioreactor artesanal de 20 L equipado com sistema de aeração forçada com compressor de oxigênio com vazão de 3 L min^{-1} em regime intermitente (30 min ligado/30 min desligado) (Figura 5). A formulação para 10 litros de TMT incluiu: 13 L de água destilada, 1 L de melão de cana, 200 g de farinha de arroz, 100 g de farinha de osso, 100 g de carvão vegetal moído e 500 g de terra de bambuzal.



Figura 5, protótipo para multiplicação dos microrganismos. Fonte autor.

O processo fermentativo durou 72 horas, com monitoramento e ajuste diário do pH em 6.3, com NaOH 1M. A primeira aplicação ocorreu um dia após o transplante na base do solo (Figura 6) e a segunda aplicação foi realizada no início da floração 30 dias após a primeira aplicação para os tratamentos designados.



Figura 6, Aplicação do TMT. Fonte autor.

Manejo Cultural, Manejo de Podas

Realizou-se poda sistemática de brotações laterais semanalmente, mantendo-se o sistema de condução com haste única. A poda apical foi executada em 30 de abril de 2025 quando as plantas atingiram 2,20-2,30 m de altura.

Adubação e Irrigação

Realizou-se adubação com formulação NPK 10-10-10 (45 g por vaso) no início da floração e novamente no terceiro mês de frutificação (Figura 7). Essa adubação foi aplicada em quantidade reduzida com o objetivo de evitar a perda total das plantas quando as mesmas demonstraram forte deficiência de nutrientes. A estratégia buscou manter as plantas em leve condição de estresse nutricional, estimulando o recrutamento de microrganismos benéficos na rizosfera, buscando a associação simbiótica como os microrganismos eficientes.

Aplicou-se também boro via foliar (50 mL em 5 L de água) no início da frutificação de forma igualitária com uma bomba costal, devido à deficiência desse micronutriente na análise de solo. A aplicação foliar foi escolhida por ser uma forma mais eficiente de suprir rapidamente a carência de boro, micronutriente essencial para processos fisiológicos e o desenvolvimento reprodutivo.

O regime de irrigação foi ajustado conforme o desenvolvimento fenológico, sendo adotado 100 mL de água diário no primeiro mês, seguido por 200 mL no segundo mês, 300 mL no terceiro mês e, a partir do quarto mês, 350 mL pela manhã e 350 mL à tarde.



Figura 7, deficiência de nutrientes. Fonte autor.

Controle Fitossanitário

Realizou-se controle de Mosca Branca e pulgão com aplicação intercaladas de 15 em 15 dias quando necessário com de *Beauveria bassiana* e óleo de NEEM, na primeira aplicação, seguido de aplicação de inseticida Previlegia® quando necessário (Figura 8).



Figura 8, ataque de mosca branca e pulgão. Fonte autor.

Parâmetros de Crescimento Vegetativo: As avaliações de crescimento vegetativo foram realizadas aos 120 dias após o transplantio, momento correspondente ao final do ciclo da cultura, quando as plantas atingiram o estágio de maturação dos frutos na haste principal. A altura das plantas foi mensurada utilizando-se trena antropométrica, aferindo-se a distância compreendida entre a base do caule, ao nível do substrato, e o ápice vegetativo da planta. Foram avaliadas seis plantas por tratamento, totalizando 48 unidades experimentais.

A área foliar foi determinada a partir da coleta de todas as folhas posicionadas a 1,0 m de altura, em cada planta avaliada. As folhas foram escaneadas em scanner com resolução de 1200 dpi, e as imagens foram salvas em formato PDF. Posteriormente, a área foliar foi quantificada por meio do *software* AutoCAD, que permitiu a mensuração precisa da superfície foliar total. Foram analisadas seis plantas por tratamento, com exceção do tratamento testemunha, que teve cinco repetições válidas devido à perda de uma unidade experimental.

Parâmetros de Matéria Seca e Fresca: A biomassa vegetal foi avaliada ao final do ciclo, aos 120 dias após o transplantio. A massa seca da parte aérea foi obtida após a secagem do material vegetal (caule, folhas e estruturas remanescentes) em estufa de circulação forçada de ar, à temperatura de 60 °C, por um período de 72 horas, até a obtenção de peso constante. De forma análoga, a massa seca radicular foi determinada submetendo-se o sistema radicular, previamente lavado em água corrente para remoção de resíduos de substrato, ao mesmo processo de secagem em estufa a 60 °C por 72 horas, até estabilização da massa. As determinações foram realizadas em balança analítica de precisão (0,01 g), considerando-se seis repetições por tratamento, exceto para a testemunha (cinco repetições).

Parâmetros Produtivos: A produtividade foi avaliada ao longo do período reprodutivo da cultura, compreendido entre os 90 e os 120 dias após o transplântio, com colheitas realizadas semanalmente à medida que os frutos atingiam a maturação comercial. Foram contabilizados a quantidade total de frutos colhidos por planta em cada tratamento e o peso médio dos frutos, mensurado individualmente em balança de precisão com resolução de 0,01 g. Para a caracterização do tamanho dos frutos, foram realizadas medições do diâmetro equatorial e longitudinal com auxílio de paquímetro digital com resolução de 0,01 mm, conforme ilustrado na Figura 9. Em cada tratamento, foram avaliadas seis plantas, totalizando 48 unidades experimentais, com exceção do tratamento testemunha, que contou com cinco repetições válidas.



Figura 9, medição e pesagem dos frutos. Fonte autor.

Análise Estatística

As avaliações foram conduzidas em seis plantas por tratamento, totalizando 42 unidades experimentais. Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística utilizando o software RStudio. Inicialmente, foi aplicada a análise de variância (ANOVA one-way) para verificar diferenças entre os tratamentos, precedida pela verificação das premissas de normalidade dos resíduos (teste de Shapiro-Wilk) e homogeneidade das variâncias (teste de Levene). Quando as premissas foram atendidas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para variáveis que não atenderam aos pressupostos paramétricos, foi aplicado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, seguido pelo teste de Dunn com correção de Bonferroni para comparações múltiplas. As letras indicativas de agrupamentos estatísticos foram geradas com o auxílio do pacote *agricolae*, e os gráficos foram elaborados com o pacote *ggplot2*.

4.4 RESULTADOS

Os dados foram submetidos à análise estatística utilizando o software RStudio. Para

variáveis paramétricas, aplicou-se ANOVA one-way seguida do teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Para variáveis não paramétricas, utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis seguido do teste de Dunn com correção de Bonferroni ($p \leq 0,05$). Os resultados são apresentados como média \pm desvio padrão na Tabela 1.

Tabela 1. Médias \pm desvio padrão das variáveis de crescimento, biomassa, produtividade e qualidade de frutos de tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.)

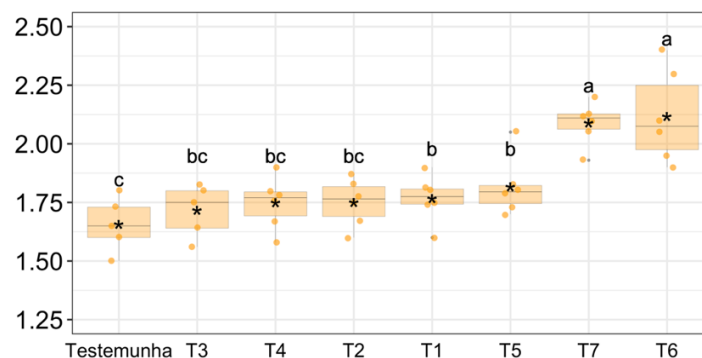
Tratamento	Altura (m)	Área Foliar (cm ²)	MSPA (g)	MSRA (g)	Nº Frutos	Peso (g)	Comprimento (mm)	Espessura (mm)
Testemunha	1,38 \pm 0,68 c	46,46 \pm 0,38 de	72,2 \pm 3,6 b	28,0 \pm 4,8 ab	39 \pm 3,1 c	53,8 \pm 23,4 de	46,0 \pm 7,9 de	43,5 \pm 7,0 ef
T1 (1x 50 L/ha ⁻¹)	1,77 \pm 0,10 b	47,50 \pm 2,23 de	86,0 \pm 19,4 a	26,0 \pm 8,1 bcd	31 \pm 2,8 de	45,9 \pm 22,4 e	42,9 \pm 9,9 e	40,6 \pm 9,6 f
T2 (1x 100 L/ha ⁻¹)	1,75 \pm 0,10 bc	49,15 \pm 3,19 cd	80,0 \pm 3,6 ab	28,0 \pm 10,0 abc	32 \pm 2,9 d	65,1 \pm 25,2 bc	49,6 \pm 9,6 c	47,2 \pm 6,0 cd
T3 (1x 200 L/ha ⁻¹)	1,43 \pm 0,71 bc	43,16 \pm 5,66 e	81,5 \pm 12,6 ab	15,8 \pm 4,6 e	33 \pm 2,5 d	61,8 \pm 24,9 cd	48,9 \pm 10,0 cd	45,4 \pm 6,5 de
T4 (2x 50 L/ha ⁻¹)	1,75 \pm 0,11 bc	47,37 \pm 4,07 de	81,7 \pm 10,5 ab	20,8 \pm 4,8 bcde	43 \pm 3,5 b	75,8 \pm 21,4 b	53,7 \pm 7,3 ab	49,3 \pm 4,5 c
T5 (2x 100 L/ha ⁻¹)	1,82 \pm 0,12 b	59,15 \pm 2,36 ab	90,0 \pm 3,9 a	19,5 \pm 8,2 de	55 \pm 4,2 a	85,8 \pm 21,2 a	55,5 \pm 6,5 a	52,3 \pm 4,9 a
T6 (2x 200 L/ha ⁻¹)	2,12 \pm 0,20 a	61,19 \pm 1,79 a	87,5 \pm 13,8 a	19,8 \pm 6,4 cde	56 \pm 3,8 a	87,7 \pm 28,6 a	55,2 \pm 7,0 a	51,3 \pm 5,5 ab
T7 (1x 400 L/ha ⁻¹)	2,09 \pm 0,09 a	52,61 \pm 4,76 bc	83,8 \pm 10,1 a	46,8 \pm 18,1 a	29 \pm 2,9 e	74,7 \pm 27,5 b	51,7 \pm 7,7 bc	49,8 \pm 6,5 bc
CV (%)	11,2	9,8	13,5	28,7	8,3	28,4	14,6	12,8

Tratamentos: T1 (50 L/ha⁻¹, 1 aplicação), T2 (100 L/ha⁻¹, 1 aplicação), T3 (200 L/ha⁻¹, 1 aplicação), T4 (50 L/ha⁻¹, 2 aplicações), T5 (100 L/ha⁻¹, 2 aplicações), T6 (200 L/ha⁻¹, 2 aplicações), T7 (400 L/ha⁻¹, 1 aplicação). MSPA: massa seca da parte aérea; MSRA: massa seca radicular. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (ANOVA) ou Dunn (Kruskal-Wallis) a 5% de probabilidade. Para número de frutos, os valores são apresentados apenas como média \pm DP para fins descritivos.

Crescimento Vegetativo

A altura média das plantas variou significativamente entre os tratamentos ($p < 0,001$), conforme indicado pelo teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,001$) na Figura 10. Os tratamentos T6 (200 L/ha⁻¹, duas aplicações) e T7 (400 L/ha⁻¹, uma aplicação) apresentaram os maiores valores médios destacando-se como os mais eficazes na promoção do crescimento vertical. A testemunha com 1,38 m apresentou a menor altura e os tratamentos T3 com 1,43 m, T4 1,74 m e T2 com 1,75 m não apresentaram diferenças significativas entre elas. A análise de agrupamento pelo teste de Dunn ($p \leq 0,05$) revelou que T6 com 2,11 m e T7 com 2,08 m formam um grupo estatisticamente superior, seguido por T5 1,81 m e T1 1,76 m, enquanto os demais tratamentos apresentaram desempenho inferior.

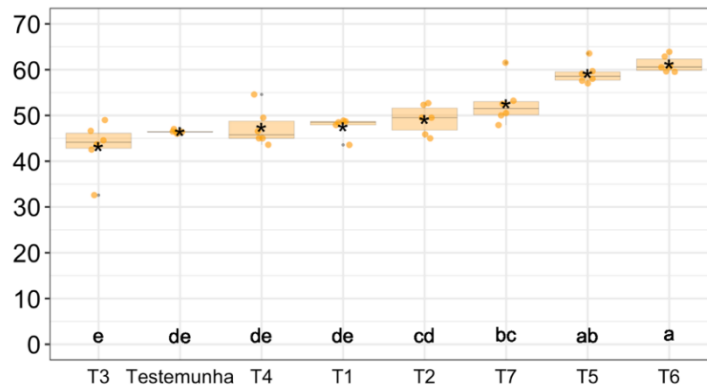
Figura 10 – Altura (m) média de plantas de tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) em função dos diferentes tratamentos com TMT.



Letras distintas indicam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de Dunn a ($p \leq 0,05$) de probabilidade. Tratamentos: T1 uma aplicação de 50L/ha, T2 uma aplicação de 100 L/ha, T3 uma aplicação de 200L/ha, T4 2 aplicações de 50L/ha, T5 2 aplicações de 100L/ha, T6 2 aplicações de 200 L/ha e T7 uma aplicação de 400L/ha.

A área foliar, indicador direto da capacidade fotossintética e do vigor vegetativo, também apresentou variação significativa no teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,001$). O tratamento T6 com 61,19 cm² destacou-se com a maior média, seguido por T5 com 59,1 cm² (Figura 11). Ambos diferiram estatisticamente da testemunha com 46,46 cm² e do tratamento T3 43,16 cm², que apresentou o menor valor, os outros tratamentos apresentaram, T7 com 52,61 cm², T2 com 49,15 cm², T1 com 47,5 cm², T4 com 47,37 cm² e T3 com 43,16 cm². As diferenças entre os tratamentos foram determinadas pelo teste de Dunn a ($p \leq 0,05$) de probabilidade.

Figura 11 – Área foliar de tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) em função dos diferentes tratamentos com TMT.

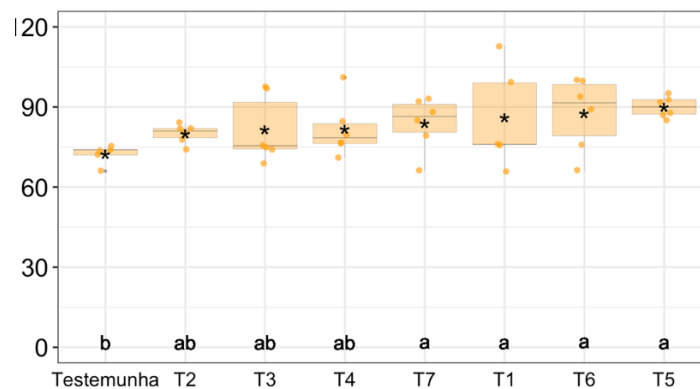


Letras distintas indicam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de Dunn a ($p \leq 0,05$) de probabilidade. Tratamentos: T1 uma aplicação de 50L/ha, T2 uma aplicação de 100 L/ha, T3 uma aplicação de 200L/ha, T4 2 aplicações de 50L/ha, T5 2 aplicações de 100L/ha, T6 2 aplicações de 200 L/ha e T7 uma aplicação de 400L/ha.

Acúmulo de Biomassa

Em relação a matéria seca, a testemunha foi estatisticamente inferior na análise aos demais, indicando que mesmo em ausência de significância entre os demais tratamentos, o TMT promove maior acúmulo de matéria seca na parte aérea (Figura 12). Os tratamentos T5, T6, T7 e T1 apresentaram os maiores valores médios, compondo o grupo superior. O T5 se destacou apresentando um valor de 90g seguido pelo T6 com 87,5g, T1 com 86g e T7 com 83,8g, T4 81,7g, T3 81,5g e T2 80g e testemunha 72,2g. As diferenças entre os tratamentos foram determinadas pelo teste de Tukey a ($p \leq 0,05$) de probabilidade.

Figura 12 – Matéria seca da parte aérea (MSPA) de tomateiro (*Solanum lycopersicum L.*) em função dos diferentes tratamentos com TMT.

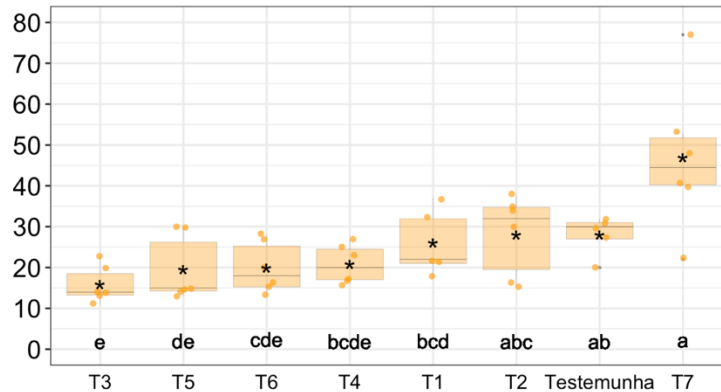


Letras distintas indicam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de Tukey a ($p \leq 0,05$) de probabilidade. Tratamentos: T1 uma aplicação de 50L/ha, T2 uma aplicação de 100 L/ha, T3 uma aplicação de 200L/ha, T4 2 aplicações de 50L/ha, T5 2 aplicações de 100L/ha, T6 2 aplicações de 200 L/ha e T7 uma aplicação de 400L/ha.

Por outro lado, a massa seca da raiz (Figura 13) apresentou diferenças estatísticas significativas ($p < 0,01$) no teste de Dunn. O tratamento T7 obteve a maior média 46,8 g, sendo

estatisticamente superior aos demais que tiveram como resultados de média: T2 com 28 g junto com a testemunha, T1 26g, T4 com 20,8 g, T6 19,8 g e T5 19,5 g, . O menor valor foi observado em T3 com 15,8 g, evidenciando que a combinação entre dose e frequência de aplicação influencia diretamente o desenvolvimento radicular. As diferenças entre os tratamentos foram determinadas pelo teste de Dunn a ($p \leq 0,05$) de probabilidade.

Figura 13 – Matéria seca da raiz (MSRA) de tomateiro (*Solanum lycopersicum L.*) em função dos diferentes tratamentos com TMT.

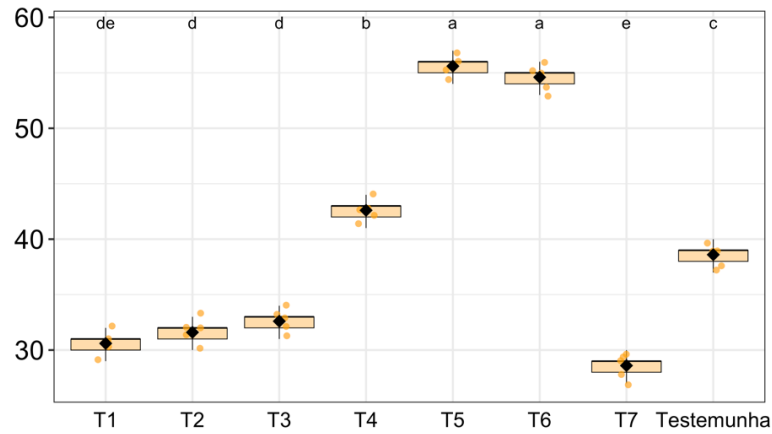


Letras distintas indicam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de Dunn a ($p \leq 0,05$) de probabilidade. Tratamentos: T1 uma aplicação de 50L/ha, T2 uma aplicação de 100 L/ha, T3 uma aplicação de 200L/ha, T4 2 aplicações de 50L/ha, T5 2 aplicações de 100L/ha, T6 2 aplicações de 200 L/ha e T7 uma aplicação de 400L/ha.

Produtividade e Qualidade dos Frutos

A análise da quantidade de frutos por planta revelou que os tratamentos com duas aplicações (T5 e T6) foram os mais produtivos, com 56 e 55 frutos, respectivamente (Figura 14). O tratamento T4 também apresentou desempenho expressivo (43 frutos), enquanto T7, apesar de promover maior crescimento vegetativo, apresentou a menor quantidade de frutos (29). Esses resultados sugerem que a frequência de aplicação exerce papel determinante na produtividade, mais do que o volume isolado.

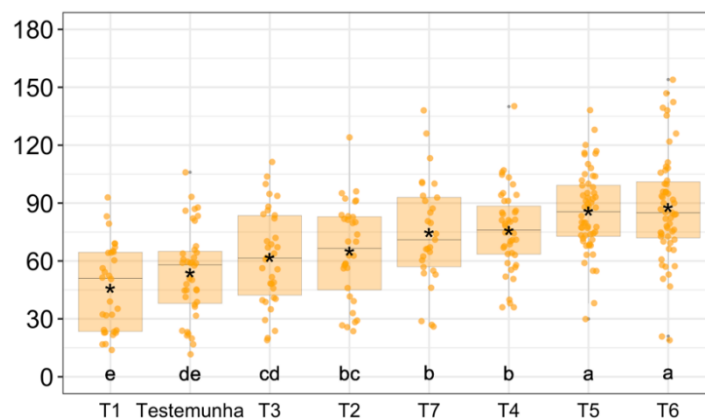
Figura 14 – Quantidade de frutos por planta de tomateiro (*Solanum lycopersicum L.*) em função dos diferentes tratamentos com TMT.



Letras distintas indicam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de Tukey a ($p \leq 0,05$) de probabilidade. Tratamentos: T1 uma aplicação de 50L/ha, T2 uma aplicação de 100 L/ha, T3 uma aplicação de 200L/ha, T4 2 aplicações de 50L/ha, T5 2 aplicações de 100L/ha, T6 2 aplicações de 200 L/ha e T7 uma aplicação de 400L/ha.

O peso médio dos frutos variou significativamente entre os tratamentos ($p < 0,001$), onde o T5 85,5 g e T6 85 g apresentaram os maiores valores, seguidos por T4 76g e T7 71g (Figura 15). Os tratamentos T2 66,5g, T3 61,5g e a testemunha 58g apresentaram valores inferiores, com destaque negativo para T1 51g. A correlação entre volume/frequência de aplicação e peso dos frutos reforça a hipótese de que o TMT contribui para o enchimento e qualidade dos frutos. As diferenças entre os tratamentos foram determinadas pelo teste de Tukey a ($p \leq 0,05$) de probabilidade.

Figura 15– Peso médio de frutos (g) de tomateiro (*Solanum lycopersicum L.*) em função dos diferentes tratamentos com TMT.

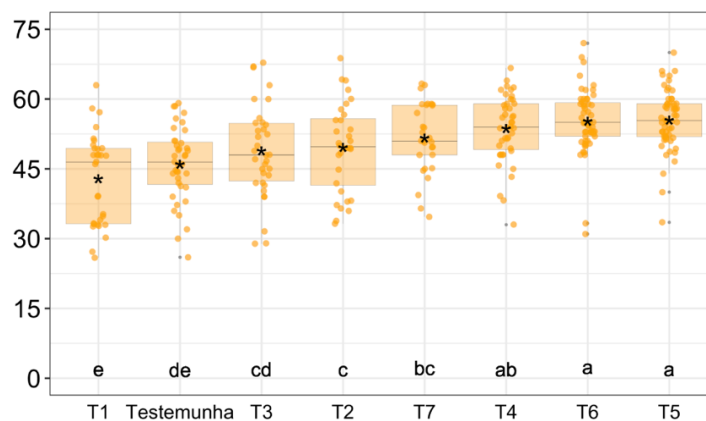


Letras distintas indicam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de Tukey a ($p \leq 0,05$) de probabilidade. Tratamentos: T1 uma aplicação de 50L/ha, T2 uma aplicação de 100 L/ha, T3 uma aplicação de 200L/ha, T4 2 aplicações de 50L/ha, T5 2 aplicações de 100L/ha, T6 2 aplicações de 200 L/ha e T7 uma aplicação de 400L/ha.

O comprimento e a espessura dos frutos seguiram tendência semelhante (Figura 16 e 17) os tratamentos e as médias foram de: T5 com 55,5 cm de comprimento e 52,3 cm de espessura, T6 55,2 cm de comprimento e 51,2 cm de espessura, T4 com 53,7 cm de

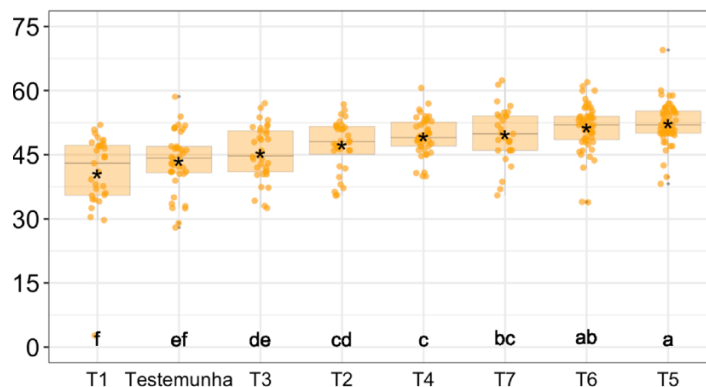
comprimento e 49,28 cm de espessura e T7 com 51,7 cm de comprimento e 49,7 cm de espessura apresentando os maiores comprimentos e espessuras, respectivamente seguido por T2 com 49,6 cm de comprimento e 47,2 cm de espessura e T3 com 48,9 cm de comprimento e 45,3 cm de espessura. A testemunha com 46 cm de comprimento e 43,4 cm de espessura e T1 com 42,9 cm de comprimento e 40,5 cm de espessura apresentaram os menores valores, evidenciando que o TMT promove não apenas maior número de frutos, mas também frutos com maior calibre e potencial comercial. As diferenças entre os tratamentos foram determinadas pelo teste de Dunn a ($p \leq 0,05$) de probabilidade.

Figura 16 – Comprimento médio de frutos (mm) de tomateiro (*Solanum lycopersicum L.*) em função dos diferentes tratamentos com TMT.



Letras distintas indicam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de Dunn a ($p \leq 0,05$) de probabilidade. Tratamentos: T1 uma aplicação de 50L/ha, T2 uma aplicação de 100 L/ha, T3 uma aplicação de 200L/ha, T4 2 aplicações de 50L/ha, T5 2 aplicações de 100L/ha, T6 2 aplicações de 200 L/ha e T7 uma aplicação de 400L/ha.

Figura 17– Espessura média de frutos (mm) de tomateiro (*Solanum lycopersicum L.*) em função dos diferentes tratamentos com TMT.



Letras distintas indicam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de Dunn a ($p \leq 0,05$) de probabilidade. Tratamentos: T1 uma aplicação de 50L/ha, T2 uma aplicação de 100 L/ha, T3 uma aplicação de 200L/ha, T4 2 aplicações de 50L/ha, T5 2 aplicações de 100L/ha, T6 2 aplicações de 200 L/ha e T7 uma aplicação de 400L/ha.

4.5 DISCUSSÃO

4.5.1. Mecanismos de Ação e Promoção de Crescimento: A Via Nutricional

O incremento significativo no desenvolvimento vegetativo do tomateiro, manifestado na maior altura das plantas (com destaque para T6 e T7) e na expansão da área foliar (T5 e T6), pode ser amplamente atribuído à otimização da absorção de nutrientes mediada pelo inoculante TMT. Consórcios de microrganismos eficientes (ME) têm a capacidade de atuar como agentes de solubilização e mineralização no solo (Wu et al., 2023; Nugroho et al., 2023). Essa funcionalidade é crucial, especialmente para o Fósforo (P), um elemento com baixa mobilidade no solo. Estudos indicam que o TMT, ao estimular a atividade microbiana e enzimática na rizosfera, promove a produção de fosfatases microbianas, acelerando a liberação de frações orgânicas de P para a solução do solo (Wu et al., 2023 e Sagar et al., 2021). A maior disponibilidade desse nutriente é fundamental para a formação de ATP e para o suporte da divisão celular, dando um entendimento maior ao vigor vegetativo observado (Hakkoum et al., 2024; Bona et al., 2018) o que explica o desempenho positivo com o aumento das dosagens nos tratamentos.

Paralelamente, a atividade microbiana induzida pelo TMT também favorece a disponibilidade de Nitrogênio (N), nutriente essencial para a síntese de proteínas, produção de clorofila e expansão foliar. A melhoria no balanço N/P, proporcionada por essa atividade, sustenta diretamente a capacidade fotossintética e a resiliência vegetal (Li et al., 2023; Cirillo et al., 2023). A Matéria Seca da Raiz (MSRA), por sua vez, atingiu o maior valor no tratamento T7 (400 L/ha⁻¹, 1 aplicação). Esse resultado sugere que a dose mais concentrada pode ter induzido uma maior produção de fitohormônios, como o Ácido Indolacético (AIA), pelos microrganismos. O AIA é um promotor conhecido da proliferação radicular, conferindo maior resiliência e capacidade de absorção hídrica ao sistema (Demir et al., 2024).

4.5.2. Desenvolvimento Radicular e Efeitos Fito-Hormonais

A avaliação do acúmulo de biomassa revelou uma distinção notável no sistema radicular: o maior acúmulo de Matéria Seca da Raiz (MSRA) foi observado especificamente no tratamento T7 (400 L/ha⁻¹, 1 aplicação). Embora a maioria dos tratamentos tenha superado a Testemunha no acúmulo de Matéria Seca da Parte Aérea (MSPA), a superioridade do T7 na raiz indica que doses mais elevadas e concentradas podem potencializar a resposta fitohormonal da planta. Microrganismos eficientes são reconhecidos pela capacidade de sintetizar Ácido Indolacético (AIA) e outros fito-hormônios que atuam diretamente como promotores de crescimento. O AIA, em particular, é um potente agente estimulador da elongação celular e da

proliferação de raízes, mecanismo que justifica a maior MSRA observada no T7 (Demir et al., 2024).

Um sistema radicular mais desenvolvido é um fator crítico para a sobrevivência e produtividade, pois aumenta a superfície de contato para a absorção de água e nutrientes, conferindo maior tolerância a estresses ambientais. A indução desse crescimento radicular pelo TMT é uma indicação do seu potencial de aumentar a plasticidade fenotípica das plantas, permitindo uma melhor adaptação às condições de solo e manejo.

4.5.3 Frequência versus Dose: Otimizando a Produtividade e Qualidade de Frutos

A análise mais crucial do estudo reside no confronto entre o vigor vegetativo (T7) e a produtividade comercial. Os resultados demonstraram que os tratamentos T5 (100 L/ha⁻¹, 2 aplicações) e T6 (200 L/ha⁻¹, 2 aplicações) foram significativamente superiores em quantidade total de frutos, além de apresentarem melhores índices de peso, comprimento e espessura, essenciais para a qualidade e o valor de mercado (Nanjundappa et al., 2019). A superioridade do T5 e T6 no comprimento e espessura dos frutos (calibre) é um indicador direto do potencial comercial do bioinsumo quando bem manejado, pois evidencia que o TMT, com aplicação fracionada, promove não apenas maior número de frutos, mas também frutos com maior valor agregado. Essa constatação evidencia que a frequência de aplicação foi mais determinante para o sucesso produtivo do que a dose volumétrica concentrada.

A diferença de desempenho pode ser interpretada pela relação Fonte-Dreno da planta, sendo que o tratamento T7, que induziu o maior crescimento vegetativo e radicular, e pode ter provocado um desvio excessivo de fotoassimilados para a fonte (crescimento de caule e raiz) em detrimento do dreno (desenvolvimento dos frutos), resultando em menor frutificação.

Em contraste, a aplicação fracionada (duas vezes) no T5 e T6 garantiu uma renovação e manutenção da atividade microbiana na rizosfera em momentos críticos do ciclo da cultura, como durante a floração e o enchimento dos frutos. Esse fornecimento estável de nutrientes e fito-hormônios pode ser responsável pela otimização da translocação de carboidratos para os frutos, maximizando tanto o número quanto o calibre final. A estratégia de manejo do TMT deve, portanto, priorizar o fracionamento das doses para sincronizar o benefício microbiano com as demandas fisiológicas da planta nas fases reprodutivas.

4.5.4. Potencial no Manejo Sustentável de Nematoides

Ao final do experimento, durante a desmontagem do sistema, foi possível observar a presença de nematoides nas raízes das plantas. Esse achado, embora não planejado inicialmente, permitiu uma análise complementar de grande relevância agrônômica. Notou-se que o

tratamento T6 (200 L/ha⁻¹, duas aplicações) apresentou menor severidade de galhas causadas por esses patógenos, em comparação aos demais tratamentos (Figura 18). Essa observação sugere que o TMT pode ter exercido um efeito de biocontrole ou indução de resistência, o que estaria alinhado a práticas de manejo sustentável de fitopatógenos.

Uma das hipóteses que poderia explicar esse fenômeno é o antagonismo microbiano, conforme discutido por Bispo et al. (2023). O consórcio microbiano presente no TMT, ou a microbiota nativa estimulada por ele, pode ter atuado competindo com os nematoides por espaço e nutrientes na rizosfera, ou mesmo inibido seu desenvolvimento de forma direta.

Outra possibilidade, apontada por Wu et al. (2023) e Bona et al. (2018), está relacionada à maior tolerância fisiológica das plantas. Nos tratamentos T5 e T6, que receberam aplicações fracionadas do TMT e apresentaram nutrição mais equilibrada ao longo do ciclo, as plantas puderam direcionar mais recursos para a manutenção da integridade celular e para respostas de defesa. Isso pode ter contribuído para a redução da expressão dos sintomas, mesmo na presença do patógeno, conforme já observado por Al-Fraih (2015).

É importante destacar que, embora todos os tratamentos tenham sido expostos igualmente à pressão de nematoides, apenas o T6 demonstrou visualmente um melhor controle das galhas. Apesar disso, mesmo sob ataque do patógeno, os tratamentos com TMT sustentaram um bom desempenho agrônômico. O T5, por exemplo, destacou-se em produtividade de frutos, massa seca e área foliar, enquanto o T7 apresentou bom desenvolvimento radicular e altura de plantas. Esses resultados reforçam o potencial do TMT como uma ferramenta complementar no manejo de nematoides, ainda que estudos futuros sejam necessários para investigar mais a fundo esses mecanismos.

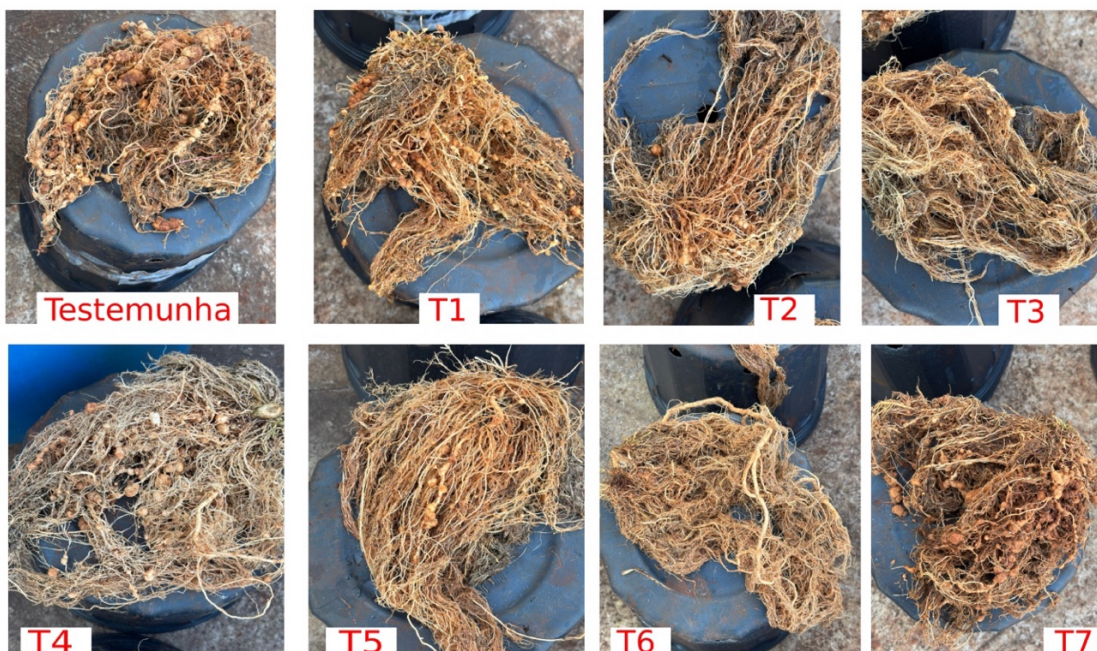


Figura 18. Resultados visuais do ataque de nematoide em cada tratamento. Tratamentos: T1 uma aplicação de 50l/há, T2 uma aplicação de 100 l/há, T3 uma aplicação de 200l/há, T4 2 aplicações de 50l/há, T5 2 aplicações de 100l/há, T6 2 aplicações de 200 l/há e T7 uma aplicação de 400l/ha.

4.6 CONCLUSÃO

O TMT demonstrou ser eficaz na promoção do crescimento do tomateiro, com destaque para as doses mais altas (T6 200L/ha⁻¹ e T7 400L/ha⁻¹) no incremento da altura das plantas. O tratamento T7 (400 L/ha⁻¹, aplicação única) foi o mais eficiente na indução do sistema radicular, resultando no maior acúmulo de massa seca radicular, o que, conforme descrito na literatura, pode estar associado a mecanismos hormonais estimulados pela alta concentração de microrganismos.

A frequência de aplicação mostrou-se um fator determinante para o sucesso produtivo. Os tratamentos com duas aplicações (T5 100L/ha⁻¹ e T6 200L/ha⁻¹) foram estatisticamente superiores, resultando no maior número de frutos e nos melhores índices de peso, comprimento e espessura, características fundamentais para a qualidade e o valor comercial dos frutos.

Observou-se um padrão contrastante entre os tratamentos: o T7 400L/ha⁻¹, ele apresentou os maiores valores de altura e massa seca radicular, porém a menor quantidade de frutos (29 frutos por planta), enquanto os tratamentos T5 100L/ha⁻¹ e T6 200L/ha⁻¹ apresentaram crescimento vegetativo moderado, mas foram superiores em número de frutos (56 e 55, respectivamente), peso médio (85,5 e 85,0 g) e calibre dos frutos melhor e constante. Esse padrão contrastante está alinhado com o que foi identificado na revisão sistemática que compõe esta dissertação (artigo 1), na qual se observou que concentrações elevadas de microrganismos eficientes em aplicação única podem induzir um desvio no balanço fisiológico da planta, favorecendo o crescimento vegetativo em detrimento da produção reprodutiva, enquanto aplicações fracionadas sincronizam os estímulos microbianos com as fases fenológicas, otimizando a alocação de recursos para os frutos.

Diante dos resultados, para o máximo desempenho agrônômico que concilie crescimento, produtividade e qualidade dos frutos, recomenda-se o manejo fracionado do TMT em duas aplicações. Entre as doses testadas, a dose de 100 L/ha⁻¹ (T5) mostra-se mais adequada para recomendação prática, considerando-se não apenas a produtividade absoluta que foi equivalente entre T5 100L/ha⁻¹ e T6 200L/ha⁻¹, mas também o menor custo de insumos, a maior eficiência de uso do produto e a redução do risco de possíveis efeitos fitotóxicos associados a doses mais elevadas. Dessa forma, T5 100L/ha⁻¹ combina eficácia agrônômica com viabilidade econômica e menor risco operacional.

Os resultados indicam ainda um potencial efeito protetor do TMT, evidenciado pela menor severidade de galhas de nematoides observada no tratamento T6, sugerindo maior tolerância fisiológica ou antagonismo microbiano induzido pelo regime de aplicação fracionado. Contudo, ressalta-se que esse achado foi observacional e não planejado inicialmente, demandando confirmação em estudos específicos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior –Brasil (CAPES) e a Universidade Estadual do Norte do Paraná (UENP) Campus Luiz Meneghel-Bandeirantes –Paraná –Brasil, pelo apoio financeiro e institucional que possibilitou a realização deste trabalho.

4.7 REFERÊNCIAS

- AL-FRAIH, A. M. E. A. Effect of soil amendments and root containment on nematode populations in organic greenhouse tomatoes in the Netherlands. 2015. Tese (Doutorado) – **Wageningen University**, Wageningen, Países Baixos.
- BISPO, R. L. B.; et al. Sugarcane molasses as substrate to soil yeasts: Indole-3-acetic acid production and maize initial growth promotion. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 47, 2023.
- BONA, E.; et al. Combined bacterial and mycorrhizal inocula improve tomato quality at reduced fertilization. **Scientia Horticulturae**, v. 234, p. 160-165, 2018.
- CIRILLO, V.; et al. Inoculation with a microbial consortium increases soil microbial diversity and improves agronomic traits of tomato under water and nitrogen deficiency. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1304627, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1304627>.
- DEMIR, H.; et al. Impact of effective micro-organisms (EM) on the yield, growth and biochemical properties of lettuce when applied to soil and leaves. **BMC Plant Biology**, v. 24, n. 1189, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05980-y>.
- FENG, Y.; et al. Exploring IAA biosynthesis and plant growth promotion mechanism for tomato root endophytes with incomplete IAA synthesis pathways. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 11, n. 187, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40538-024-00712-8>.
- HAKKOUM, Z.; et al. Impact of a soil cyanobacteria consortium-based bioinoculant on tomato growth, yield, and fruit quality. **Plants**, v. 14, n. 13, p. 2034, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants14132034>.
- LI, L.; et al. Enhancing plant growth in biofertilizer-amended soil through nitrogen-transforming microbial communities. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1259853, 2023.

DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1259853>.

MAHAJAN, G.; SHARMA, A. Effect of microbial inoculants on growth, yield and quality attributes of tomato (*Solanum lycopersicum*). **The Pharma Innovation Journal**, v. 12, n. 9, p. 1503-1511, 2023.

NANJUNDAPPA, A.; et al. Interaction between arbuscular mycorrhizal fungi and *Bacillus* spp. in soil enhancing growth of crop plants. **Fungal Biology and Biotechnology**, v. 6, n. 1, 2019.

NI, L.; et al. Synergistic effects of leaf nitrogen and phosphorus on photosynthetic capacity in subtropical forest. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 36, p. 97–111, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40626-024-00310-x>.

NUGROHO, P. A.; et al. The effect of molasses application on soil biological indicators and maize growth of different tillage soil: a pot experiment. **Journal of Environmental Geography**, v. 16, n. 1-2, p. 1-8, 2023.

SAGAR, A.; et al. Plant growth promoting rhizobacteria, arbuscular mycorrhizal fungi and their synergistic interactions to counteract the negative effects of saline soil on agriculture: key macromolecules and mechanisms. **Microorganisms**, v. 9, n. 7, 2021.

TIAN, D.; et al. Environmental versus phylogenetic controls on leaf nitrogen and phosphorus concentrations in vascular plants. **Nature Communications**, v. 15, p. 49665, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-024-49665-4>.

WU, Qihua et al. Combined chemical fertilizers with molasses increase soil stable organic phosphorus mineralization in sugarcane seedling stage. **Sugar Tech**, v. 25, n. 3, p. 552-561, 2023.

ZHANG, W.; et al. Tomato plant growth promotion and drought tolerance conferred by three arbuscular mycorrhizal fungi is mediated by lipid metabolism. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 208, 2024.